

# topics

ProLemo • Faserblasverfahren • Qualitätssicherung im Leichtbau • Expertenforum • Faserwickeln • FaWiBo • Land der Ideen

## Editorial

Liebe Freunde und Partner des wbk,

neben aktuellen Trends in der Elektromobilität, additiven Fertigung und Industrie 4.0 stellt der Leichtbau weiterhin einen wichtigen Baustein in der Mobilität sowie im Maschinenbau der Zukunft dar. Zur Erfüllung der Anforderungen einer höheren Effizienz, Dynamik und Ressourceneffizienz ist die Senkung des Gewichts von essentieller Bedeutung. Zusätzlich rückt die Generierung weiterer Produkteigenschaften durch intelligente Materialkombinationen

weiter in den Vordergrund. Hierzu gehört beispielweise, die Dämpfung gezielt zu erhöhen und gleichzeitig das Gewicht von Maschinenkomponenten durch die Kombination von faserverstärkten Kunststoffen, Elastomeren und Metallen zu reduzieren. Weitere Projekte beschäftigen sich mit der Nutzung von Recyclingfasern zur Herstellung von Faserverbundbauteilen im Faserblasen oder dem Fügen von Leichtbauprofilen mit Hilfe von Wickelverfahren. Die Entwicklung dieser neuen Verfahren und Materialkombinationen wird am wbk

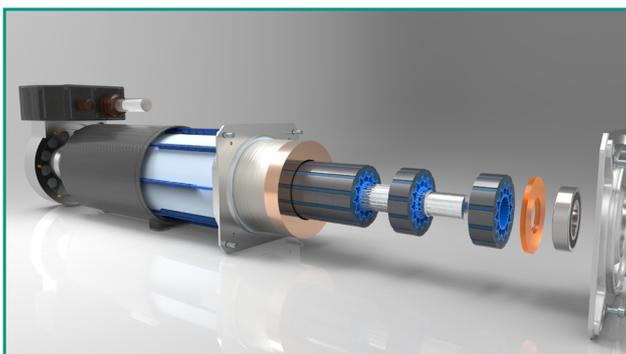
durchgängig auf allen Ebenen im Forschungsschwerpunkt Leichtbau vorangetrieben: Von der Prozessentwicklung über neue Maschinen- und Automatisierungskonzepte, Qualitätssicherung, Nachbearbeitung sowie Geschäftsmodelle und Produktionsplanung. In den aktuellen Topics möchten wir Ihnen einen Auszug der aktuellen Forschungsprojekte am wbk aus dem Themenfeld Leichtbau vorstellen.

Ihr wbk-Team

## ProLemo

# ProLemo - Produktionstechnologien für effiziente Leichtbaumotoren für Elektrofahrzeuge

Existierende Elektromotoren sind für den Fahrzeugeinsatz oft zu schwer, zu groß und zu teuer. Um sie dennoch mit gesteigerter Effizienz für den Massenmarkt Elektromobilität einsetzen zu können, wurden im Projekt ProLemo innovative Serienfertigungs- und Leichtbautechnologien entwickelt.



Aufbau des ProLemo Leichtbaumotors

Dabei arbeitete das wbk über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg eng mit den Verbundpartnern (WITTENSTEIN cyber motor GmbH, ARBURG GmbH + Co KG, INDEX-Werke GmbH & Co. KG Hahn & Tessky und Aumann GmbH) und dem Institut für Fahrzeugsystemtechnik des KIT zusammen. Durch den gezielten Einsatz von Leichtbaumaterialien (faserverstärkte Verbundwerkstoffe, Soft Magnetic Compound) und eine besonders kompakte, automatisiert hergestellte Kupferdraht-Wicklung konnten gegenüber einem Referenzmotor der gleichen Leistungsklasse Gewichtseinsparungen von insgesamt ca. 20% erreicht werden.

Besonders die Entwicklung eines

Schleuderverfahrens zur Herstellung von polygonalen CFK-Stahl-Hybridwellen und eines Zweikomponenten-Spritzgussprozesses zur skalierbaren Fertigung von Leichtbaurotorscheiben aus Soft Magnetic Compound (SMC) trugen zu den erreichten Gewichtseinsparungen bei. Ein automatisiertes Nadelwickelverfahren ermöglicht die Statorwicklung mit hohem Füllgrad bei kleinem Statoraußendurchmesser. Darüber hinaus kann eine optimierte Montage der Rotorkomponenten die Unwucht des Rotors bereits vor dem Auswuchtschritt deutlich reduzieren. Die genannten Komponenten wurden an einer prototypischen Leichtbaumotor-Fertigungszelle am wbk produziert und getestet.

### Ansprechpartnerin:

Janna Hofmann, M.Sc.

Telefon: +49 721/608-28285

E-Mail: [janna.hofmann@kit.edu](mailto:janna.hofmann@kit.edu)

## Faserblasverfahren

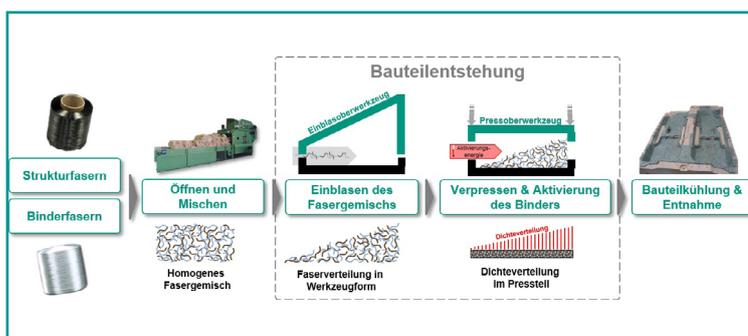
Faserverstärkte Kunststoffe bieten eine hohe Steifigkeit bei geringem Gewicht und werden daher vielfach im Leichtbau eingesetzt. Allerdings entsteht bei der Fertigung aus vorimprägniertem oder trockenem textilem Halbzeug ein hoher Verschnitt. Weiter kann die Drapierung des Halbzeugs auf einer drei-dimensionalen Geometrie zu Bauteilfehlern durch Scherungen und Faltenbildung führen. Das Faserblasverfahren (auf Englisch Fiber- Injection-Moulding, FIM), entwickelt von der Firma Fiber Engineering GmbH, ist ein innovatives Ver-

fahren zur ressourceneffizienten Herstellung von dreidimensionalen Formteilen ohne Verschnitt. Neben der hohen Materialeinsatzquote bietet das Faserblasverfahren den Vorteil, dass nahezu beliebige Faserarten verarbeitet und innerhalb des Bauteils lokale Dichten gezielt eingestellt werden können.

Bei dem Verfahren werden Strukturfasern und Fasern aus einem thermoplastischen Bindematerial in einer sogenannten Kardiermaschine geöffnet und anschließend in einer Mischkammer zu einem

homogenen Faser-gemisch vermischt. Mit Hilfe eines Gebläses wird dieses Gemisch in eine spezielle Werkzeugform eingblasen. Das Unterwerkzeug entspricht der Bauteilendkontur, das Einblasoberwerkzeug hat eine abweichende Kontur,

abhängig von der späteren lokalen Dichte. Das Oberwerkzeug legt den Einblaspalt und somit die Verteilung der Fasern im Endbauteil fest. Im nächsten Schritt wird das eingblasene Fasergemisch mit einem separaten Pressoberwerkzeug auf die Endkontur verpresst. Um die Stabilität der äußeren Form des Bauteils zu gewährleisten, wird das Werkzeug zusätzlich mit Heißluft durchströmt. In Folge aktiviert sich der Thermoplastbinder und stabilisiert die Verstärkungsfasern untereinander. Nach abschließender Bauteilabkühlung kann das fertige Bauteil aus der Form entnommen und für weitere Verarbeitungsschritte verwendet werden. Am wbk wird neben der Entwicklung von Verfahrensversionen zur automatisierten Einbringung von metallischen Lastenleitungselementen und lokalen Endlosfaserverstärkungen an der Prozessoptimierung durch intelligente Anlagenkomponenten geforscht.

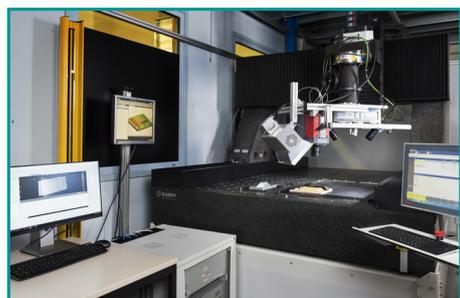


Prozesskette des Faserblasverfahrens

**Ansprechpartner:**  
 Patrick Moll, M.Sc.  
 Telefon: +49 721/608-44295  
 E-Mail: patrick.moll@kit.edu

## Qualitätssicherung im Leichtbau

Unreife Prozesse sind vor allem in der Anlaufphase oft fehlerbehaftet. Um keine wertschöpfenden Maßnahmen an defekten Bauteilen vorzunehmen, müssen Defekte frühzeitig während der Produktion aufgedeckt und gegebenenfalls noch abgeändert



Multisensorsystem mit Laserlichtschnitt und Thermografie (Quelle: Sandra Göttisheim/KIT)

werden. Zwei Verfahren zur Verarbeitung faserverstärkte Kunststoffe, die großes Potenzial haben, jedoch besondere Herausforderungen in der Produktion aufweisen sind die Prozessketten des Sheet Moulding Compounds (SMC) und des Resin Transfer Mouldings (RTM).

Im Bereich des SMC werden die Defekte in zwei

Kategorien eingeteilt: Außenliegende und innenliegende Defekte. Da sich diese charakteristisch voneinander unterscheiden, reicht ein Messsystem nicht aus, um eine vollständige Qualitätskontrolle durchzuführen. Daher wird ein Multisensorsystem entwickelt, das aus zwei Laserlichtschnittsystemen und einer aktiven Thermografieeinheit besteht. Mit dem Laserlichtschnittsystem ist es möglich, die Kontur der Bauteile zu vermessen und eine 3D-Repräsentation der Bauteile zu generieren. Die aktive Thermografie erlaubt die Detektion von innenliegenden Fehlern wie Fremdkörpern. Mit Methoden der Datenfusion können die 2D-Thermografiebilder in ein 3D-Bild umgewandelt werden, das mit der Laserlichtschnittmessung verknüpft werden kann. Dies erlaubt dem Anwender eine kombinierte Lokalisierung von Fehlern am und im Bauteil.

Im RTM-Prozess ist insbesondere die Faserorientierung ein wichtiges Merkmal. Bei den hier eingesetzten endlosfaserverstärkten Materialien haben die elektrisch leitfähigen Carbonfasern eindeutige Faservorzugsrichtungen. Diese Leitfähigkeit kann für Wirbelstromsensoren genutzt



Starre (links) und flexible (rechts) Spulennetze von Wirbelstromsensoren zur Integration in flache und gekrümmte Formwerkzeuge

werden, um die Laminatstruktur zerstörungsfrei zu prüfen. In einer aktuellen Forschungsarbeit wird ein Sensorsystem erforscht, das in den besonders qualitätskritischen Preforming-Prozess in der RTM-Prozesskette integriert wird. Damit lässt sich ohne eine zusätzliche Messstation eine prozessintegrierte Qualitätssicherung realisieren, die durch die Prüfung aller gefertigter Bauteile besonders zuverlässig und schnell gewährleistet, auf Qualitätsprobleme im Preforming reagieren zu können.

**Ansprechpartnerin:**  
 Marielouise Schäferling, M.Sc.  
 Telefon: +49 721/608-44296  
 E-Mail: marielouise.schaeferling@kit.edu

## wbk veranstaltet 2. Expertenforum „Globale Produktion“

Wie lassen sich Produktionsnetzwerke durch Industrie 4.0 zukunftsorientiert gestalten? Dieser Frage widmet sich das 2. Expertenforum „Globale Produktion“, welches das wbk Institut für Produktionstechnik zusammen mit dem WZL der RWTH Aachen und dem ITEM der Universität St. Gallen veranstaltet. Wissenschaftliche Vorträge

geben Einblicke in aktuelle Forschungstätigkeiten

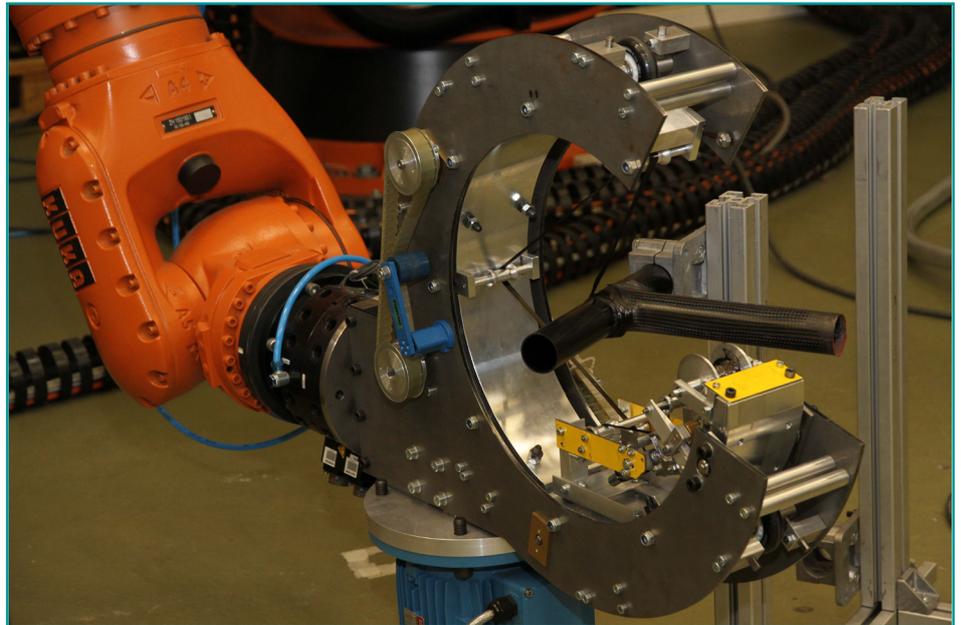


und Industriereferenten präsentieren Lösungen aus der Praxis. Diskussionsrunden bieten den Teilnehmern Raum für Austausch und Networking. Wir möchten Sie herzlich zum Expertenforum am 04. Oktober 2018 im Steigenberger Hotel in Stuttgart einladen. Anmeldung unter: [www.globaleproduktion.de](http://www.globaleproduktion.de).

## Faserwickeln als Fügeverfahren für Leichtbauverbindungen

Faserverbundwerkstoffe haben sich in den letzten Jahren zu einer wichtigen Materialklasse entwickelt. Aufgrund ihres hohen Leichtbaupotentials in Kombination mit erstklassiger mechanischer Performance werden sie in der Luftfahrt gleichermaßen eingesetzt wie im Automobil- und Schiffsbau, der Energietechnik oder im Sport. Ein klassisches Herstellungsverfahren ist das Faserwickeln. Hierbei werden Endlosfasern (auch Rovings genannt) mit dem Matrixwerkstoff, zum Beispiel Epoxidharz, getränkt und dann in einem vordefinierten Muster auf einem positiven, rotierenden Formkern gewickelt. Vorteile des Verfahrens sind die hohe Festigkeit des Werkstoffs bei gleichzeitig geringem Gewicht und die einfache Verarbeitung.

Die Verbindungsstelle zweier oder mehrerer Bauteile, auch aus unterschiedlichen Werkstoffen, stellt jedoch eine Schwachstelle dar. Nietverbinder oder Verschraubungen zerstören die Faserstruktur der zu verbindenden Bauteile. Auch Klebeverbindungen weisen große Streuungen in den Festig- und Steifigkeitswerten auf und sind daher als sichere Verbindungsmethode ungeeignet. Das wbk Institut für Produktionstechnik des KIT hat das bauteilgenerierende Verfahren des Fasernasswickelns zu einer Füge-technologie weiterentwickelt. Bei dem neuen Ansatz dienen die zu verbindenden Bauteile als Wickelkern, um die ein imprägnierter Roving geführt wird. Da bei geschlossenen Rahmenstrukturen oder großen Bauteilen, im Gegensatz zum herkömmlichen Wickeln, die Gefahr der Kollision besteht, wurde eine spezielle, robotergeführte Kinematik entwickelt. Diese besteht aus einem am



Aufbau des Fügewickelrings zum Verbinden von Leichtbauprofilen

Roboter angebrachten C-förmigen Stator, in dem sich ein ebenfalls C-förmiger Rotor dreht, wie die Abbildung zeigt. Die Wickeleinrichtung rotiert um die zu verbindenden Bauteile und wickelt gleichzeitig eine Endlosfaser über die Fügestelle. Die dabei entstandene Knotenverbindung im Fügebereich der Bauteile ist bei geringem Gewicht vollkommen zerstörungsfrei zu den zu verbindenden Bauteilen und weist eine sehr hohe Festig- und Steifigkeit auf. Ein Prototyp der Kinematik wurde bereits am wbk eingesetzt und zeigte das Potential des innovativen Fügeverfahrens. Ziel zukünftiger Projekte ist die Überführung des ersten Proto-

typens in eine serientaugliche Anlage mit einem hohen Automatisierungsgrad sowie die Ableitung einer vollständigen CAE Prozesskette für das Fügewickeln. Für die „Vorrichtung und Verfahren zum automatisierten Verbinden zweier Bauteile in einem Fügebereich“ hat das Deutsche Patent- und Markenamt dem KIT ein Patent erteilt.

### **Ansprechpartner:**

Marius Dackweiler, M.Sc.

Telefon: +49 721/608-44295

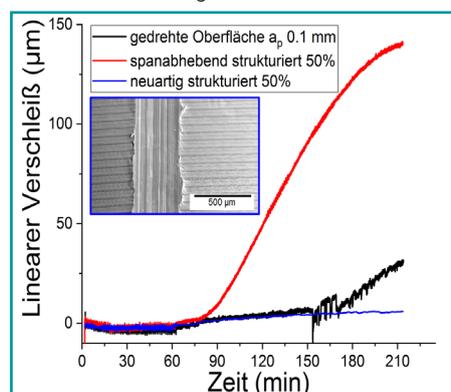
E-Mail: [marius.dackweiler@kit.edu](mailto:marius.dackweiler@kit.edu)

## BMW FaWiBo: Fahrwerkssystem für Wide-Body-Flugzeuge der nächsten Generation

Titan-Legierungen wie Ti6Al4V bieten eine hohe Festigkeit bei gleichzeitig geringer Dichte. Dem gegenüber steht jedoch ein ungünstiges tribologisches Verhalten. Dieses führt im Reibkontakt zu starkem Verschleiß der Bauteiloberfläche, was den Einsatz in bewegten Teilen, wie dem Flugzeugfahrwerk, limitiert.

Im vom BMWi geförderten Verbundprojekt FaWiBo wird zusammen mit der Fa. Liebherr Aerospace daran geforscht, den Einsatz von Titan in Fahrwerkssysteme der Zukunft zu intensivieren. Hierzu muss das Verschleißverhalten der Titanlegierung Ti6Al4V deutlich verbessert werden. Um Titanbauteile fertigungsseitig für tribologische Anwendungen zu optimieren, arbeitet das wbk eng mit dem Institut für Angewandte Materialien zusammen. Die erzeugten Zustände werden in Pin-On-Disk- und Fretting-Versuchen bewertet, welche das Verschleißverhalten unter kontinuierlichem und wechselndem Reibkontakt abbilden. In Zerspanungs- und Verschleißuntersuchungen

hat sich gezeigt, dass Prozessstellgrößen, wie Schnittgeschwindigkeit und Schneidkantenasymmetrie, geeignet sind, nanokristalline Randschichten in Ti6Al4V gezielt einzustellen.



Ergebnis von Pin-on-disc Experimenten an Ti-6Al4V gegen Lagerbronze mit querplangedrehter Probe, klassisch spanend strukturierter Probe und neuartig strukturierter Probe mit jeweils 50% Strukturfüllgrad.

Obwohl so bereits der Verschleiß positiv beeinflusst werden konnte, stellen die erzielten Verschleißraten keine endgültige Lösung dar. Daher wurde ein Strukturierungsverfahren unter Verwendung von handelsüblichen Wendeschneidplatten entwickelt. Erste tribologische Untersuchungen zeigen ein verbessertes Verschleißverhalten im Vergleich zur herkömmlichen spanenden Strukturierung sowie der Referenz mit optimaler nanokristalliner Randschicht (siehe Darstellung). Da Oberflächenstrukturen Bauteileigenschaften wie die Wechselfestigkeit beeinflussen können, sind neben der weiteren Prozessoptimierung auch Lebensdaueruntersuchungen geplant.

### **Ansprechpartner:**

Eric Segebade, M.Sc.

Telefon: +49 721/608-45906

E-Mail: [eric.segebade@kit.edu](mailto:eric.segebade@kit.edu)

# Lernfabrik Globale Produktion ist ausgezeichnete Ort im Land der Ideen

Die Initiative „Deutschland – Land der Ideen“ hat die Lernfabrik Globale Produktion am wbk in ihrem gleichnamigen Wettbewerb ausgezeichnet. Die Jury betonte, dass das Trainingszentrum Menschen bei Fortschritten wie etwa der Digitalisierung mitnehme, um gemeinsam die Herausforderungen der Globalisierung zu meistern. Durch die grenzüberschreitende Zusammenarbeit mit China verbinde sie Welten und verlasse mit einer innovativen



Bild: Land der Ideen Management GmbH

Idee ausgetretene Wege. Als aktuell weltweit einzige befasst sich die Lernfabrik am wbk mit Herausforderungen, die charakteristisch für die Produktion in globalen Netzwerken sind, wie etwa unterschiedliche Kostenstrukturen, Automatisierungsgrade oder Mitarbeiterqualifikation. Die Initiative zeichnet in ihrem Wettbewerb jedes Jahr 100 Projekte aus, die innovative Antworten auf drängende gesellschaftliche Fragen liefern.

## SKALIERBARE AUTOMATISIERUNG

VOM 20.09. BIS 21.09.2018

Komplexe Produkte entstehen immer häufiger in global verteilten Fabriken. Unternehmen müssen

ihre Prozesse so auslegen, dass sie unter den maßgeblichen Umweltbedingungen den optimalen Automatisierungsgrad für ihre Produktion wählen. Das wbk zeigt in einem zweitägigen Workshop zum Thema Skalierbare Automatisierung, praxisnahe Methoden und Werkzeuge zur Planung und Bewertung einer modular aufgebauten,

skalierbaren Montage. Die Teilnehmer lernen, Wandlungstreiber durch eine gezielte Skalierung des Automatisierungsgrades zu beherrschen.

### Ansprechpartner:

Fabio Echsler Minguillon, M.Sc.  
Telefon: +49 721/608-44153  
E-Mail: [fabio.echsler@kit.edu](mailto:fabio.echsler@kit.edu)

## Neueinstellungen



### Philipp Gönheimer, M.Sc.

Rekonfiguration und Modularisierung von Produktionsanlagen zum 01.01.2018



### Manuela Leoni, M.Sc.

Selektives Laserschmelzen, Additive Fertigung zum 01.01.2018



### Dominik Mayer, M.Sc.

Produktionsanlagenentwicklung für Statoren zum 01.01.2018



### Stefan Föhl

Systemadministrator zum 15.01.2018



### Jannis Langer, M.Sc.

Think Tank – Industrielle Ressourcenstrategien zum 15.03.2018



### Bianca Hiemenz

Industriemechanikerin zum 01.04.2018



### Jonas Jaworski

Industriemechaniker zum 01.04.2018



### Hannah Pulli, M.Sc.

Autonomes Oberflächenfinish zum 01.05.2018



### Jörg Dittus, M.Sc.

Leichtbaufertigung, Additive Fertigungsverfahren zum 01.05.2018



### Lucas Bretz

Optische Messtechnik, Leichtbau zum 01.06.2018



### Dipl.-Ing. German Gonzalez

Oberflächenkonditionierung in Zerspanungsprozessen zum 01.06.2018



### Tobias Storz, M.Sc.

Batteriezellfertigung zum 01.06.2018

## Promotionen

### Dipl.-Ing. Steffen Dosch

Herstellerübergreifende Informationsübertragung zur effizienten Produktion von Werkzeugmaschinen am Beispiel von Kugelgewindetrieben

### Emanuel Moser, M.Sc.

Migrationsplanung globaler Produktionsnetzwerke – Bestimmung robuster Migrationspfade und risiko-effizienter Wandlungsbefähiger

### Jan Hochdörffer, M.Sc.

Integrierte Produktallokationsstrategie und Konfigurationssequenz in globalen Produktionsnetzwerken

### Dipl.-Wirt.-Ing. Tobias Arndt, M.Sc.

Bewertung und Steigerung der Prozessqualität in globalen Produktionsnetzwerken

### Manuel Peter, M.Sc.

Unwuchtminimale Montage von Permanentmagnetrotoren durch modellbasierte Online-Optimierung

### Dipl.-Ing. Harald Meier

Einfluss des Räumens auf den Bauteilzustand in der Prozesskette Weichbearbeitung – Wärmebehandlung – Hartbearbeitung

### Robin Kopf, M.Sc.

Kostenorientierte Planung von Fertigungsfolgen generativer Technologien

### Dipl.-Ing. Daniel Brabandt

Qualitätssicherung von textilen Kohlenstoffasern-Preforms mittels optischer Messtechnik

## Impressum

wbk Institut für Produktionstechnik  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Kaiserstr. 12 | 76131 Karlsruhe  
[www.wbk.kit.edu](http://www.wbk.kit.edu)  
ISSN: 2509-4378 (Print), 2509-4386 (Online)