



Fraunhofer
IWS

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR WERKSTOFF- UND STRAHLTECHNIK IWS

JAHRESBERICHT
2018



DAS FRAUNHOFER IWS

Das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden steht für Innovationen in der Laser- und Oberflächentechnik. Als Einrichtung der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. bietet das Institut Lösungen aus einer Hand – von der Entwicklung neuer Verfahren über die Integration in die Fertigung bis hin zur anwendungsorientierten Unterstützung. Die Felder Systemtechnik und Prozesssimulation ergänzen die Kernkompetenzen. Zu den Geschäftsfeldern des Fraunhofer IWS gehören PVD- und Nanotechnik, Chemische Oberflächen- und Reaktionstechnik, Thermische Oberflächentechnik, Generieren und Drucken,

Fügen, Laserabtragen und -trennen sowie Mikrotechnik. Das Kompetenzfeld Werkstoffcharakterisierung und -prüfung unterstützt die Forschungsaktivitäten. An der Westsächsischen Hochschule Zwickau betreibt das Dresdner Institut das Fraunhofer-Anwendungszentrum für Optische Messtechnik und Oberflächentechnologien AZOM. Die Fraunhofer-Projektgruppe am Dortmunder OberflächenCentrum DOC® ist ebenfalls Teil des Dresdner Instituts. Die Hauptkooperationspartner in den USA sind das Center for Coatings and Diamond Technologies CCD an der Michigan State University in East Lansing und das Center for Laser Applications CLA in Plymouth, Michigan.



Zertifiziert nach ISO 9001:2015

Qualität ist das Fundament für unseren Erfolg. Wir haben es uns zur Aufgabe gemacht, die eigenen Potenziale weiterzuentwickeln sowie die Zufriedenheit unserer Partner und Kunden auf höchstem Niveau zu etablieren. Deshalb hat das Fraunhofer IWS Dresden bereits 1997 ein Qualitätsmanagementsystem eingeführt, das seither kontinuierlich weiterentwickelt und regelmäßig nach dem ISO-Standard 9001 extern zertifiziert wird. Dieses dient als Basis, um anhand dokumentierter Verfahren zukunftssicher am nationalen und internationalen Markt agieren zu können. So schaffen wir die Voraussetzung dafür, unsere Unternehmensziele effizient und effektiv zu erreichen – und stets ein verlässlicher Partner zu sein.



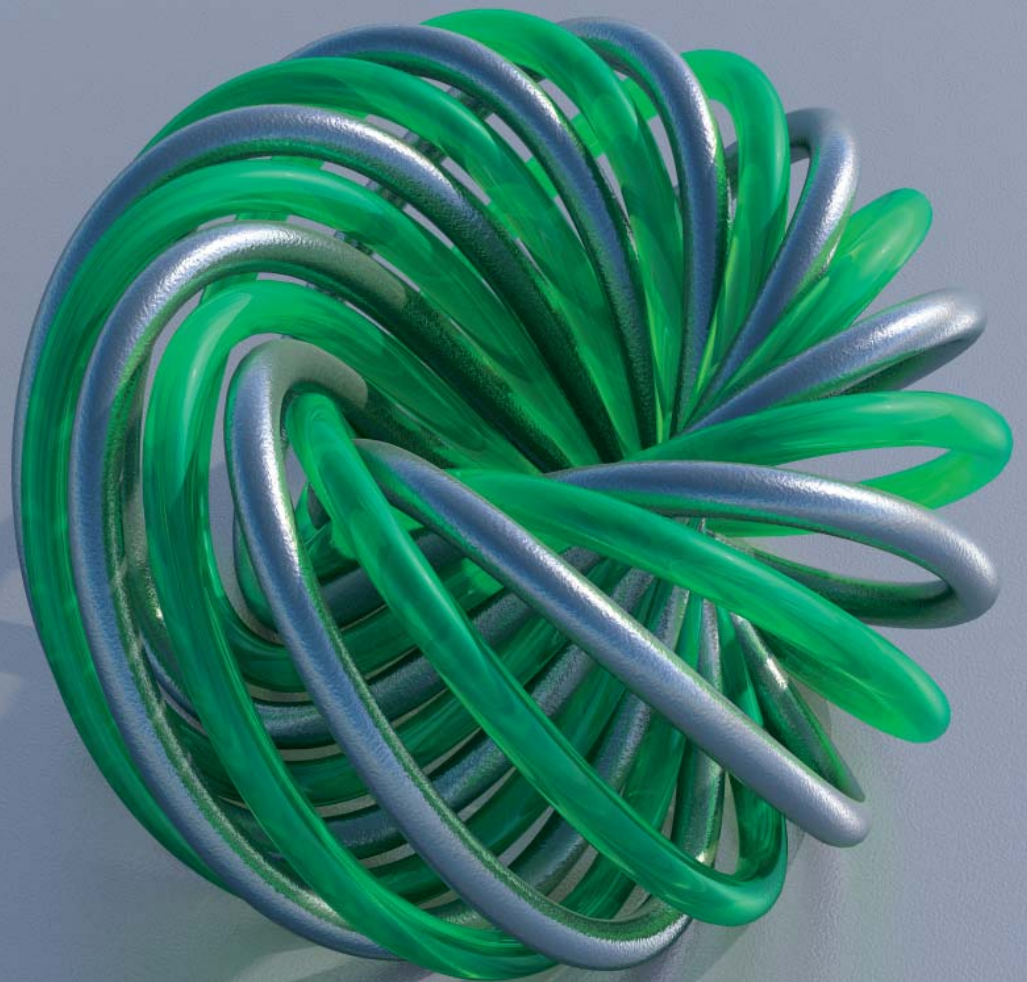
DRESDEN-concept: Exzellenz aus Wissenschaft und Kultur

Das Fraunhofer IWS Dresden bringt sich als Mitglied stark in den Verbund DRESDEN-concept ein. Diese Zusammenarbeit der 26 Partner aus Wissenschaft und Kultur zielt darauf ab, Synergien in Forschung, Ausbildung, Infrastruktur, Verwaltung sowie Transfer zu erschließen und zu nutzen. Dazu koordinieren sie ihre Wissenschaftsstrategie und identifizieren diejenigen Gebiete, in denen Dresden international führend ist. Die Partner arbeiten zusammen, um weltweit führende Wissenschaftler für Dresden zu gewinnen und diese an den hiesigen Wissenschaftsstandort zu binden.

JAHRESBERICHT 2018

**FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR WERKSTOFF- UND
STRAHLTECHNIK IWS**

INHALT



VORWORT



Institutsleiter **Prof. Dr.-Ing. Christoph Leyens**

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

beim Rückblick auf das vergangene Jahr kommt mir das Bild des Steuerrads in den Sinn. Denn der emotionale, thematisch maritim geprägte Abschied von Institutsleiter Prof. Dr. Ralf-Eckhard Beyer markierte nicht nur für mich einen wichtigen Meilenstein. Während seines Ehrenkolloquiums Ende September blickten wir gemeinsam mit vielen Wegbegleitern auf seine mehr als zwei erfolgreichen Jahrzehnte als Leiter unseres Instituts sowie als Direktor des Instituts für Fertigungstechnik der TU Dresden zurück. Ihm gilt unser aller Dank für seine Verdienste. Prof. Beyer reichte im wahrsten Sinne des Wortes die Kapitänsmütze an mich weiter. Es ist mir eine große Ehre und ein Ansporn zugleich, die Erfolgsgeschichte des IWS fortzusetzen. Wir werden unsere Leistungen auch zukünftig auf unsere Kernkompetenzen

in der Laseranwendung sowie in der Oberflächen- und Werkstofftechnik stützen. Dabei werden wir als leidenschaftliche Taktgeber sowie querdenkende Ideentreiber weiterhin daran arbeiten, den besten Anwender- und Partnernutzen zu erzielen.

Drei Themenfelder, die wir im vergangenen Jahr hervorragend weiterentwickeln konnten, möchte ich hier besonders hervorheben: zum einen die Dünnschichttechnik mit den sogenannten ta-C-Schichten. Reibungsarm und verschleißbeständig finden sie immer größeren Anklang in der Industrie. Aktuell übernehmen vor allem immer mehr Automotive-Anwender die Schichten in ihre Produkte, die unser Partner Federal-Mogul Powertrain mit IWS-Unterstützung herstellt. Aber auch für viele

weitere Anwendungsfelder, wie den Werkzeugbau, kommt die Technik in Betracht, in denen Reibung und Verschleiß eine Rolle spielen.

Das zweite Themenfeld mit großem Wachstumspotenzial lautet für mich: »Organ on a chip«. Der im vergangenen Jahr mit einem »EARTO Innovation Award« (siehe Seite 20) ausgezeichnete, am IWS entwickelte Multiorgan-Chip stellt einen direkten Nutzen für den Menschen dar. Patienten sollen zukünftig von einer auf ihre individuellen physiologischen Rahmenbedingungen abgestimmten Medikation profitieren. Ein Bluttest könnte präzisere Aussagen liefern, ob ein Medikament tatsächlich hilft. Auch die Anzahl der Tierversuche könnte auf diese Weise signifikant sinken. Selbst wenn schon viel erreicht ist, stehen wir am Anfang einer Entwicklung, deren Ausmaß wir heute noch nicht absehen können.

Zum Dritten ist und bleibt die additive Fertigung ein Dauerbrenner für das Fraunhofer IWS. 2018 wuchs kein anderes Forschungsfeld im Institut so stark und schnell. Mich freut besonders, dass die Industrie das Thema vermehrt als wesentlich für sich entdeckt. Da sind wir natürlich der richtige Ansprechpartner, der bei Forschung und Entwicklung zielgerichtet unterstützen kann. Das zeigt beispielsweise der Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2018 (siehe Seite 20), den wir gemeinsam mit unserem Partner Rolls-Royce für unseren Beitrag zur Realisierung des effizientesten Großtriebwerks der Welt erhielten.

In den kommenden Jahren wird uns unter anderem die Digitalisierung durchgängiger Prozessketten wissenschaftlich beschäftigen (Stichwort: »Digitaler Zwilling«). Während wir heute anhand digital erhobener Prozessdaten rückblickend viel über die Erstellung eines Bauteils wissen, soll es zukünftig ähnlich dem Reverse-Engineering-Ansatz möglich sein, Vorhersagen über dessen optimale Herstellung zu treffen. Um speziellen Anforderungen gerecht zu werden, muss eine spezifische Geometrie aus einem bestimmten Material mit einem passgenauen Gefüge durch einen zu definierenden

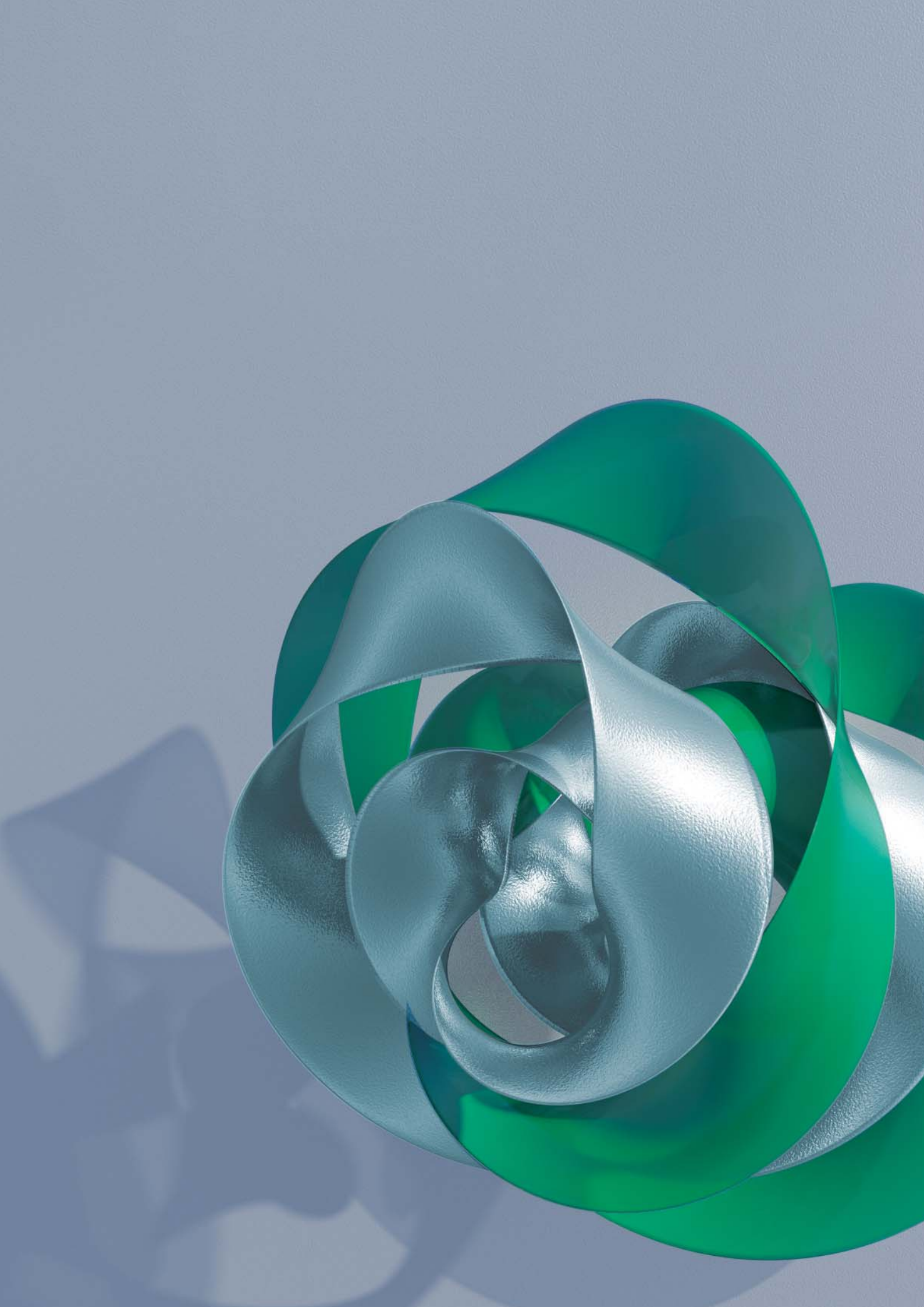
Prozess entstehen. Diese Konfiguration zu bestimmen, darauf arbeiten wir hin. Die Verbindung der gesamten Prozesskette ist das, was für uns die Sprunginnovation darstellt.

Im Fraunhofer-Leitprojekt »Evolopro« treiben wir die Entwicklung eines »Biological Manufacturing Systems« voran. Im Kern wollen wir gemeinsam mit weiteren Fraunhofer-Instituten für die Entwicklung einer neuen Generation von Produktionssystemen Mechanismen nutzen, die sich analog zu biologischen Organismen selbstständig an neue Anforderungen und Umgebungsbedingungen anpassen. Das Fraunhofer IWS rückt dabei digitale durchgängige Prozessketten in den Fokus des Interesses und steuert seine Kompetenzvielfalt für den Werkstoff und die Prozesse bei. Ähnliches gilt auch für das Fokusprojekt »FutureAM«. Darin bringen wir uns im Handlungsfeld »Werkstoffe« federführend ein. Die AM-Verfahren sind schon relativ gut erforscht und erweitern die Grenzen der klassischen Fertigung im Sinne der Konstruktion bedeutend. Eine wichtige Frage lautet nun: Leisten die additiv gefertigten Strukturen auch mechanisch das, was man von ihnen erwartet?

Welche weiteren heißen Eisen wir am Fraunhofer IWS aktuell schmieden, welche Technologien wir im vergangenen Jahr in den industriellen Prozess übertragen haben und viele weitere Einblicke in unser Institut bietet dieser Jahresbericht. Ich lade Sie herzlich dazu ein, sich ein eigenes Bild zu machen und den Kontakt mit unseren Experten aufzunehmen.

Ihr

Prof. Dr.-Ing. Christoph Leyens





DAS FRAUNHOFER IWS

KERNKOMPETENZEN

IWS IM ÜBERBLICK

HIGHLIGHTS

AUS DEM KURATORIUM

ORGANISATION
UND ANSPRECHPARTNER

KERNKOMPETENZEN



Die Überführung aktueller Forschungsergebnisse in die industrielle Praxis ist der wesentliche Antrieb für unsere Forschungsarbeiten. Dafür bauen wir auf folgenden Gebieten unsere Kernkompetenzen ständig weiter aus:

LASERMATERIALBEARBEITUNG

Die Kernkompetenz der Lasermaterialbearbeitung umfasst die Beherrschung durchgehender Wertschöpfungsketten von der Analyse der Bauteilbelastung über den beanspruchungsgerechten Werkstoffeinsatz und die bauteilbezogene Verfahrensentwicklung bis hin zur industriellen Umsetzung moderner Verfahren. Werkstoff- und Bauteilverhalten stehen im Vordergrund. Daraus ergeben sich die Prozess- und Systemparameter, die letztlich das Anlagenkonzept bestimmen. Prozessüberwachung und -regelung runden das Portfolio ab.

OBERFLÄCHENTECHNIK

Die Verbesserung der Funktionalität der Oberfläche ist eine zentrale Aufgabe. Dafür steht am IWS ein breites Spektrum an Verfahren zur Funktionalisierung und Beschichtung zur Verfügung. Schichten und Strukturen von wenigen Nanometern bis zu einigen Millimetern Dicke aus unterschiedlichen Materialien und Materialkombinationen können damit hergestellt werden. In vielen Fällen ist für eine optimale Bauteilbehandlung oder -beschichtung die Weiterentwicklung der Systemtechnik (zum Beispiel Plasmaquellen) erforderlich.

SYSTEM- UND PROZESSSIMULATION

Die Kompetenz in der Simulation erstreckt sich auf die Entwicklung von Simulationsmodulen zur thermischen Oberflächentechnik, zum additiven Fertigen, Schneiden, Schweißen und Vakuumbogenbeschichten sowie auf die Berechnung der optischen Eigenschaften von Nanoschichtsystemen. Kommerzielle Simulationsmodule kommen beim Optimieren der Gas- und Plasmaströmung bei Beschichtungsprozessen und der Lasermaterialbearbeitung zum Einsatz.

SYSTEMTECHNIK

Sensorik zur Prozessüberwachung und informationstechnische Vernetzung helfen, die Prozessqualität zu sichern und zu dokumentieren. Die Anpassung der Systemtechnik ist häufig unausweichlich. In Verbindung mit einer Vielzahl von Industrieüberführungen konnte sich das IWS umfangreiche systemtechnische Kompetenz erarbeiten und sein Verfahrens-Know-how bei Entwicklung, Fertigung und Design industrietauglicher integrierbarer Komponenten, Anlagen und Systeme mit der dazugehörigen Software einbringen.

DIGITALISIERUNG

Auf allen Forschungsgebieten des Fraunhofer IWS ist die enge Verzahnung von werkstofftechnischem mit prozess- und produktionstechnischem Know-how ein Schlüsselfaktor zur Lösung komplexer Probleme. Die Digitalisierung entlang der gesamten Prozesskette gehört zu den aktuellen Kernherausforderungen. Bei der Weiterentwicklung der Systemtechnik zu volldigitalisierten Systemen steht der Plattformgedanke im Vordergrund. Das IWS bringt dafür seine Kompetenzvielfalt in der Laseranwendung, Oberflächen- und Werkstofftechnik ein.

WERKSTOFFTECHNIK

Zur Kernkompetenz gehört die Charakterisierung oberflächen- und randschichtbehandelter sowie beschichteter, geschweißter, geschnittener und mikro- beziehungsweise nanostrukturierter Werkstoffe und Bauteile. Dies stellt die Grundlage für die werkstoff- sowie bauteilangepasste Verfahrensentwicklung und Qualitätssicherung dar und ist die Basis für eine werkstoff-, fertigungs- und beanspruchungsgerechte Konstruktion.

IWS IM ÜBERBLICK

IWS-Hauptgebäude



IWS-Nebengebäude



IWS-Nebengebäude



AZOM



DOC®



Mitarbeiter

IWS

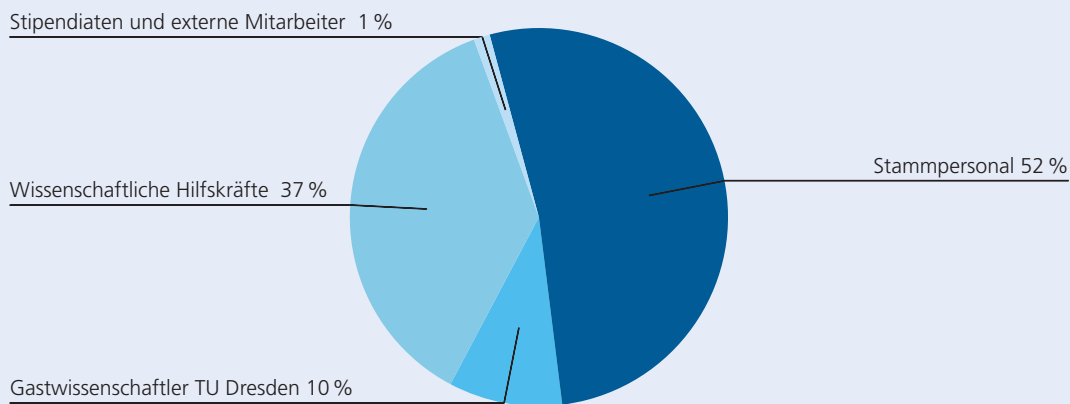
	Anzahl
Wissenschaftler/Ingenieure (TU, FH)	158
Facharbeiter mit techn. oder kaufmänn. Ausbildung	62
Auszubildende	14
Wissenschaftliche Hilfskräfte	164
Stipendiaten und externe Mitarbeiter	6
Gastwissenschaftler TU Dresden	44
Gesamt	448

Publikationen

Art der Publikation

	Anzahl
Dissertationen	13
Diplomarbeiten	47
Masterarbeiten	14
Veröffentlichungen	125
Patente (Erstanmeldungen)	15
	214

Eine Liste aller wissenschaftlichen Fraunhofer-IWS-Publikationen aus dem Jahr 2018 stellen wir über die bibliographische Datenbank »Fraunhofer-Publica« unter dem folgenden Link zur Verfügung: <http://publica.fraunhofer.de/institute/iws/2018>.



Stand: Januar 2019

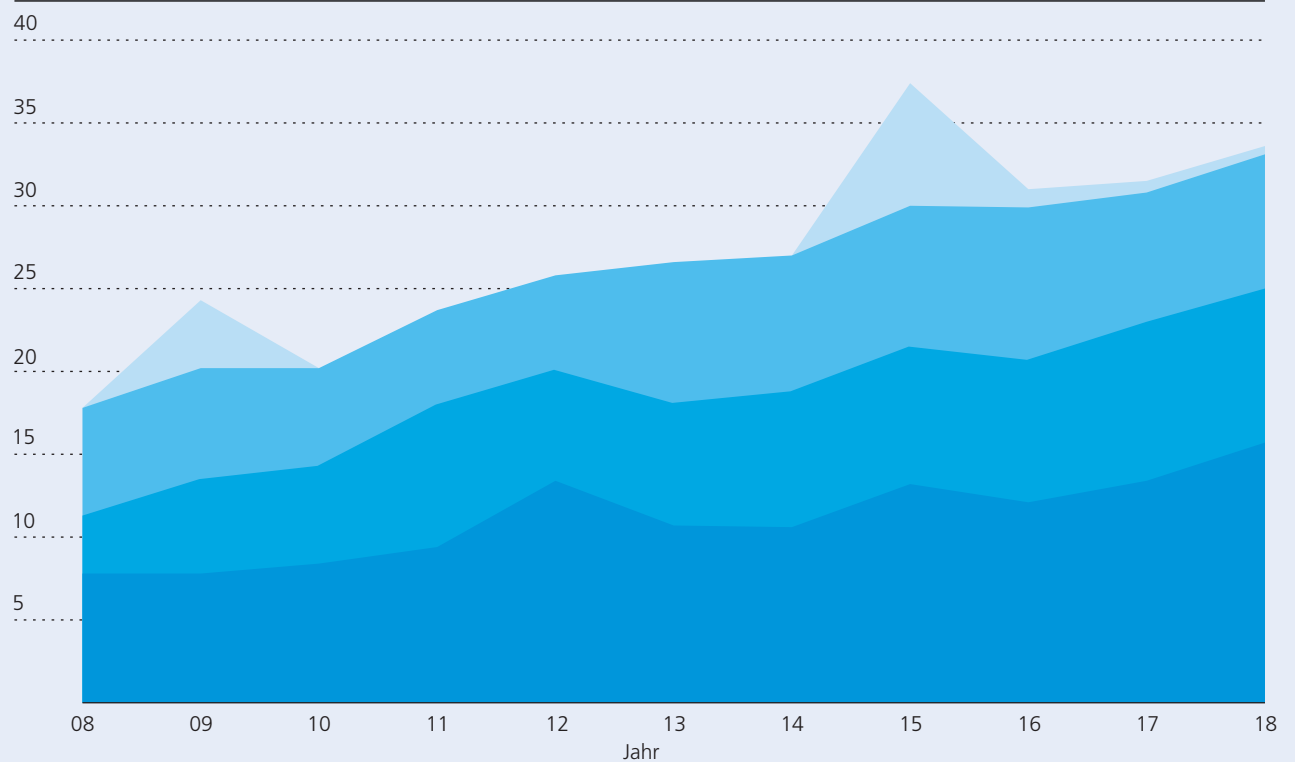
Erträge

Fraunhofer IWS und deutsche Außenstellen 2018 in Mio. €

	Betrieb	Investitionen	Gesamt
■ Projekterträge aus der Industrie	15,4	0,3	15,7
■ Projekterträge durch Bund, Land und EU	9,1	0,2	9,3
■ Grundfinanzierung und interne Programme	6,6	1,5	8,1
■ Sonderfinanzierung durch Bund, Land und EU	0,1	0,4	0,5
	31,2	2,4	33,6

Fraunhofer Industrie $\rho_{\text{Ind}} = 50,2\%$

Ertrag in Mio. €

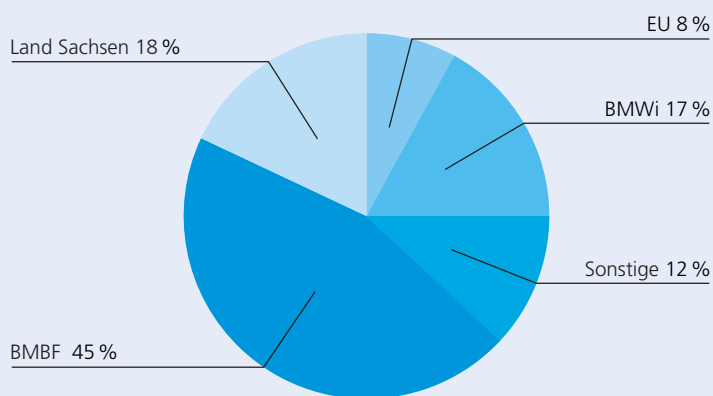


Stand: Januar 2019

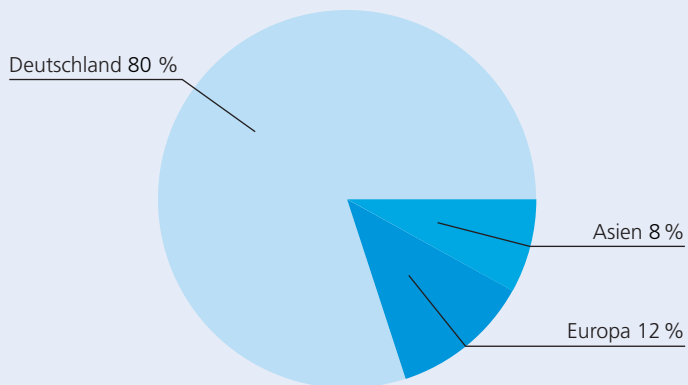
Aufwendungen Fraunhofer IWS und deutsche Außenstellen 2018 in Mio. €

Personalaufwand	16,3
Sachaufwendungen	14,9
Investitionen	2,0
Sonderinvestitionen durch den Bund, Land und EU	0,4
	33,6

Herkunft der öffentlichen Erträge



Herkunft der Industrieerträge



Stand: Januar 2019

HIGHLIGHTS

Als Institut der Fraunhofer-Gesellschaft stehen wir für exzellente, anwendungsorientierte Forschung. Mit großer Leidenschaft entwickeln wir innovative Lösungen für die Industrie von heute und morgen. In unserer Rubrik »Highlights« stellen wir Ihnen eine Auswahl von Forschungsergebnissen vor, die es bis zur Einführung in die industrielle Praxis geschafft haben. Nur echte Innovationen, die erfolgreiche Anwendung finden und den Markt durchdringen, haben das Prädikat »Highlight« verdient. Außerdem blicken wir voller Stolz auf die Höhepunkte unserer wissenschaftlichen Entwicklung zurück, indem wir Ihnen die Auszeichnungen präsentieren, die wir im vergangenen Jahr erhalten haben.





INDUSTRIEÜBERFÜHRUNGEN

COAXwire: Neue Anwendungen des koaxialen Laser-Draht-Auftragschweißens im Karosseriebau

Opel setzt seit dem vergangenen Jahr die Lasertechnologie »COAXwire« ein, um neue Werkzeuge für den Automobilbau flexibler, zuverlässiger und schneller als bisher herstellen zu können. »Im Vergleich zum Auftragsschweißen mit Pulvern schont unsere drahtbasierte Technologie die Umwelt, spart Kosten und macht die Arbeit für den Schweißer einfacher und sicherer«, betont Marc Kaubisch, Koordinator der Gruppe »Laser-Draht-Beschichtungstechnik« am Fraunhofer IWS Dresden. Die Bezeichnung »COAXwire« leitet sich von den verwendeten Prinzipien ab: Die Anlage führt das aufzutragende Material als Draht der Bearbeitungsoptik koaxial zu – und zwar zentrisch in der Laserstrahlachse und senkrecht zum Werkstück. Bisher mussten Drähte als Schweißgut dem Laserkopf seitlich zugeführt werden, was die Programmierung und Bedienung der Schweißanlagen kompliziert machte und die Herstellung komplexer Geometrien erschwerte. Möglich wird die senkrechte Drahtzuführung, weil die IWS-Ingenieure in den Bearbeitungsköpfen den Laserstrahl zunächst in drei Teilstrahlen aufteilen, die sie dann in der Bearbeitungszone wieder zusammenführen. Im Vergleich zum pulverbasierten Auftragsschweißen liegt der Vorteil der »COAXwire«-Anlagen darin, dass kaum Abfall entsteht. Die Technologie wird eingesetzt, um Werkzeuge, die während der langen Produktionsketten in der Serienfertigung beschädigt wurden, zu reparieren. Auch lassen sich so spezielle Designwünsche und Sonderanfertigungen realisieren. Interessant ist die Option, damit extrem harte und widerstandsfähige Schichten auf Rohlinge aus kostengünstigeren, zähen Materialien wie etwa Baustahl aufzubringen. Im konkreten Falle hat das IWS in Kooperation mit ALOtec Dresden im Opel-Werkzeugbau eine bereits vorhandene Härtingsanlage durch ein »COAXwire«-Modul ergänzt.

Keramischer Hitzeschild für sparsame Triebwerke

Je mehr ein Triebwerkhersteller die Betriebstemperatur einer Turbine erhöhen kann, desto effizienter funktioniert das Aggregat in aller Regel. Dadurch verbraucht ein Flugzeug im Flugbetrieb weniger Treibstoff. Helfen kann dabei eine spezielle Keramikbeschichtung aus Yttrium-stabilisiertem Zirkoniumoxid (YSZ). Sie wirkt wie ein Hitzeschild. Die Schicht kann die Arbeitstemperatur einer Turbine anheben, ohne das Risiko einzugehen, die temperaturabhängige Festigkeit der Komponenten zu verringern. Das IWS hat mit dem Schweizer Anlagenbauer AMT nun ein Suspensionsspritzverfahren zur Industriereife gebracht, das solche Dämmungen preiswert und in hoher Qualität auf Turbinen-Komponenten aufträgt. Diese Dämmschichten können dabei wenige Zehntelmillimeter oder auch mehrere Millimeter dick sein. »Dieses Verfahren eignet sich auch dafür, besonders große Turbinenteile zu beschichten«, erklärt Dr. Maria Barbosa, Gruppenleiterin Thermisches Spritzen am Fraunhofer IWS, die ihre Technologie als Brückenschlag zwischen den bisher üblichen Verfahren versteht. Bisher werden solche thermischen Dämmschichten entweder mit teuren Elektronenstrahlverdampfern (EB-PVD) im Vakuum erzeugt oder durch »Atmosphärisches Plasmaspritzen« (APS), bei dem günstigere, aber weniger belastbare Schichten entstehen. Beim IWS-Konzept verwenden die Wissenschaftler ein Pulver aus sehr feinen YSZ-Partikeln mit weniger als einem Mikrometer Durchmesser. Normalerweise verklumpen solche feinen Keramikpulver und verstopfen das Fördersystem der Spritzanlage. Zur Lösung dieses Problems haben die Fraunhofer-Spezialisten eine Technologie einschließlich der systemtechnischen Werkzeuge zur Industriereife gebracht, bei der die Mikro-Teilchen zunächst in handhabbare Suspensionen überführt und erst dann prozesssicher gespritzt werden. Ohne teure Vakuumprozesse lassen sich damit besonders gleichmäßige, stabile und thermisch hochwertige Dämmschichten herstellen. Der renommierte Schweizer Anlagenhersteller AMT erwirbt diese Technologie nun in Lizenz. Die industrielle Nachfrage nach den gespritzten Keramiksuspensionen sei bereits groß und wachse ständig, schätzt Dr. Barbosa ein.



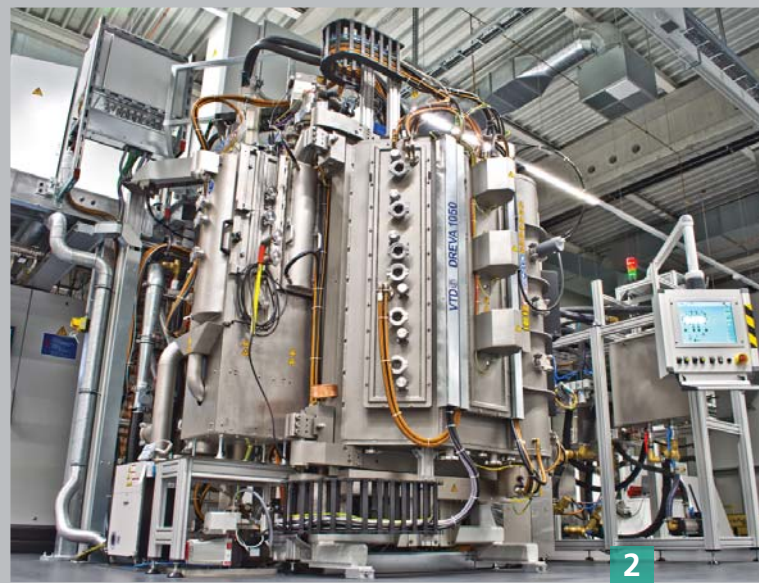
Flexibles Laserstrahlschneiden von Airbags

Eine immer größere Rolle bei der Herstellung von Airbags spielen flexible Produktion und kleine Lagerbestände. »Die Losgrößen sinken«, beobachtet Dr. Jan Hauptmann, Abteilungsleiter High-Speed-Laserbearbeitung am IWS. »Die Fertigungsabläufe müssen kurzfristig angepasst werden, sodass in der einen Woche Lenkrad-Airbags zu fertigen sind, in der nächsten Airbags für die Knie und daraufhin Seiten-Airbags.« Auch seien größere Luftkissen zum Beispiel für Kleinbusse und Materialmischungen gefragt. Dabei stoßen klassische Zuschnittprinzipien an Grenzen: Bisher wurden in den Fabriken viele Textil-Lagen übereinandergelegt und per Laser in einem Durchgang auf Form geschnitten. Dabei entsteht eine Vielzahl von Airbags auf einen Schlag. Das ist aber nur effizient, wenn Tausende Male dasselbe Modell benötigt wird – was immer seltener der Fall ist. Daher haben der Sondermaschinenbauer Held Systems Deutschland und das IWS eine neue Generation von Laser-Zuschnittmaschinen in Serie gebracht. Dabei läuft das Textilband im Endlosbetrieb unter zwei Laserköpfen hindurch, die das Airbag-Material flexibel zuschneiden. Die sogenannten contiLAS-Anlagen sind in der Lage, jedes Teil neu zu konfektionieren. Basis dafür ist die Überlagerung von kontinuierlichem Bandvorschub, Bewegung der Schneidköpfe und Laserstrahlbewegung über präzise gesteuerte Leichtgewichtsspiegel. Zusätzlich zu der am IWS entwickelten Ansteuerungslösung und zum Bahnplanungsalgorithmus sichert die Scannertechnologie die erforderliche Produktivität bei gleichzeitig höchster Flexibilität. Auch ist es durch integrierte Erkennungstechnologien möglich, OPW-Airbags zu zuschneiden. Das Webverfahren »One-piece-woven« (OPW) erzeugt Textilbänder, die teils aus verwobenen Lagen und teils aus zwei getrennten Lagen bestehen. Die Hohlräume, in die bei einem Unfall die Luft in den Airbag schießt, sind schon im flachen Textilband enthalten. »Bei der Konfektionierung ist es dort wichtig, dass der Laser nicht die Hohlräume anschneidet«, so Dr. Hauptmann. Inzwischen hat Held Systems über 30 dieser Maschinen weltweit aufgestellt. Weitere Industrieüberführungen sind in Vorbereitung.

Laserstrukturen machen Stecker kontaktfreudiger

Das Fraunhofer IWS hat mit dem »Materials Engineering Center Saarland« (MECS) ein laserbasiertes Strukturierungsverfahren für einen Industriepartner entwickelt. Durch die »Direkte Laserinterferenzstrukturierung« (engl. Direct Laser Interference Patterning – DLIP) erhalten elektrische Steckverbinder bessere Kontakteigenschaften. Im Jahr 2018 haben die Partner eine DLIP-Pilotanlage im MECS erfolgreich in Betrieb genommen. Hintergrund: Elektrische Steckverbindungen sind heutzutage in nahezu allen technischen Applikationen vom Automobilbau über die Medizin- und Energietechnik bis hin zur Heimelektronik vertreten. Schon heute enthalten beispielsweise die Bordversorgungssysteme moderner Automobile eine riesige Anzahl elektrischer Steckverbindungen. Ein Audi A8 (Modell 2015) hat 2300 elektrische Anschlüsse und 671 Kontaktgehäuse. Die Nachfrage nach verschleißfesten, leicht montierbaren Steckern mit verbesserten elektrischen Eigenschaften wächst. Um die Kontaktfähigkeit von Steckern zu verbessern, teilen die IWS-Ingenieure einen gepulsten Laserstrahl in zwei oder mehr Teilstrahlen auf. Diese Strahlen überlagern sie wieder auf der Materialoberfläche, wodurch ein großflächiges Interferenzmuster entsteht. Derartige Interferenzmuster lassen sich zum schnellen Erzeugen von Mikrostrukturen auf dem Steckermaterial nutzen. Im konkreten Fall wurden DLIP-Module zur Hochgeschwindigkeitsbearbeitung entwickelt und in eine DLIP-Pilotanlage integriert. Dies ermöglicht das Herstellen linienartiger Strukturen mit hohen Verarbeitungsgeschwindigkeiten. Die aufgetragenen Mikrostrukturen ermöglichen die Einbettung von Materialien zur Verbesserung der tribologischen Eigenschaften. Das Verfahren eignet sich besonders für den industriellen Einsatz, da weder ein Vakuum noch Reinraum notwendig ist.

1 *Laseranlage zum Schneiden von Airbaggeweben.*



Diamantenhärte für Motor-Kolbenringe

Damit Kraftfahrzeugmotoren länger halten und weniger Kraftstoff verbrauchen, können Kolbenringe mit einer diamantähnlichen superharten Kohlenstoffschicht überzogen werden. Für diese Beschichtung lässt sich die vom IWS Dresden entwickelte »Laser-Arc«-Technik vorteilhaft einsetzen. Die Industriepartner VTD Vakuumtechnik Dresden und Federal-Mogul Powertrain, die seit Oktober 2018 Teil von Tenneco Inc., Illinois/USA sind, haben mit Unterstützung der Fraunhofer-Ingenieure das Verfahren bis zur Serienreife weiterentwickelt. Die von der VTD konstruierten Beschichtungsanlagen wurden bereits mehrfach erfolgreich in die Produktion überführt. Endanwender ist das Unternehmen Federal-Mogul Powertrain, das die Kolbenringbeschichtung unter dem Namen DuroGlide® vermarktet: Der Automobilzulieferer betreibt unter anderem in Dresden eine Kolbenringfabrik, die eine Vielzahl von Fahrzeugherstellern beliefert. Kolbenringe aus Dresden mit der speziellen Kohlenstoffbeschichtung sind demnach bereits weltweit auf den Straßen unterwegs. Die diamantähnliche Kohlenstoffschicht reduziert die Reibung sowie den Verschleiß und gestattet den Einsatz sehr dünnflüssiger Motorenöle. Fahrzeuge, in deren Motoren mit DuroGlide® beschichtete Kolbenringe eingebaut sind, setzen um bis zu 1,5 Prozent weniger Kohlendioxid frei und verbrauchen entsprechend weniger Kraftstoff. Die optimierten Motoren liefern aufgrund des reduzierten Verschleißes und der gesteigerten Robustheit einen zusätzlichen Beitrag zur Verbesserung der CO₂-Bilanz. Perspektivisch könnten mit dieser Technologie auch andere Komponenten im Antriebsstrang von Kraftfahrzeugen beschichtet werden, um den Kraftstoffverbrauch weiter zu senken.

Trockenfilme: Weniger Energieverbrauch in der Batterieproduktion

In Kooperation mit dem finnischen Batterieunternehmen BroadBit Batteries aus Espoo hat das IWS eine Anlage entwickelt, die Batterieelektroden im Trockenfilmverfahren beschichtet, statt mit feuchten Pasten, wie bisher in der Industrie üblich. Die Maschine startet Anfang 2019 bei BroadBit Batteries mit der Produktion. Die Finnen wollen damit neuartige Natrium-Ionen-Batterien herstellen. »Durch unser Verfahren entfallen die Trocknungsprozesse. Das spart Energie bei der Batteriezellproduktion«, skizziert Dr. Benjamin Schumm, Gruppenleiter Chemische Beschichtungsverfahren, die Vorteile der Trockenfilme gegenüber den Pasten-Beschichtungen. Ohne die sonst üblichen, oft bis zu 100 Meter langen Trocknungsstrecken lassen sich die Anlagen zudem kompakter konstruieren. »Auch können wir auf toxische organische Lösungsmittel verzichten«, sagt Schumm. Obgleich weitere Schritte die Energiebilanz der gesamten Produktion beeinflussen, könne die Trockenfilmttechnologie letztlich dazu beitragen, dass sich große Batteriezellfabriken im Stromhochpreisland Deutschland wieder lohnen. Um Trägerfolien mit trockenen Elektrodenwerkstoffen beschichten zu können, mischen die IWS-Wissenschaftler das pulverartige Aktivmaterial mit Binderpolymeren. Den Pulvermix walzen sie dann durch einen Kalandar. Die Scherkräfte in diesem Rollensystem reißen aus den Binderpolymeren ganze Molekülketten heraus. Diese Fibrillen verbinden sich nun mit den Elektrodenpartikeln wie in einem Spinnennetz. Dabei entsteht ein kuchenteigähnlicher Trockenfilm auf einer der Kalandarwalzen. Dieses rund 100 Mikrometer dicke Band laminiert der Kalandar im nächsten Prozessschritt auf eine Aluminiumfolie – und so entsteht die Batterie-Elektrode. Das Verfahren eigne sich auch für weitere Batterietypen, betont Benjamin Schumm.



Schneller Folienschnitt mit dem Laser

Damit Unternehmen moderne Mehrschichtfolien schneller und genauer konfektionieren können, hat das IWS Dresden gemeinsam mit dem erzgebirgischen Maschinenbauer LSA aus Wolkenstein eine neuartige Laser-Zuschnittanlage entwickelt. Das System besteht hauptsächlich aus einer beweglichen Apparatur, die einen Laser und einen Scanner mit schwenkbaren Spiegeln trägt, sowie diversen anderen Vorrichtungen zum Spannen, Umlenken und Weiterbehandeln des Materials. Es kann verschiedene Folienschichten unabhängig voneinander zuschneiden, die Veredelungsschritte der anderen Maschinen in der Taktstraße abwarten und schließlich auch – neu positioniert – die weiteren Folienebenen in Form bringen. So können beispielsweise Schichten aus transparenter Kunststofffolie, Klebeband oder andere Folienmaterialien nacheinander ihre Konturen erhalten. Wichtig dabei: Der Laser darf in jedem Arbeitsschritt nur die Zielschicht, nicht aber die benachbarten Ebenen anschneiden. Im Vergleich zu klassischen Verfahren, zum Beispiel mit stählernen Scherenschnitten, bietet diese Lasertechnologie mehrere Vorteile, betont Marcel Mende vom IWS Dresden. »Erstens erreichen wir damit hohe Verarbeitungsgeschwindigkeiten von mehreren Metern pro Sekunde. Künftig soll die Anlage mit bis zu acht Metern pro Sekunde gefahren werden«, zählt er auf. »Zweitens sinkt der Wartungsaufwand: Hier müssen keine Klingen formabhängig angefertigt und gewartet werden. Und drittens ist durch einen gezielten Energieeintrag des Lasers eine flexible, punktgenaue und vor allem formstabile Materialbearbeitung möglich.« Letzteres sei besonders wichtig, da mitunter sehr wenig Material zwischen benachbarten Aussparungen verbleibt. Dabei sei zu vermeiden, dass sich das Material verzieht oder gar zerreißt. Das IWS lieferte für diese Anlage insbesondere die Laser- und Scanner-Hardware, sowie die kundenspezifische Ansteuerungssoftware. Außerdem

kümmerten sich die Fraunhofer-Ingenieure um die Einrichtung, die Inbetriebnahme und die Kundenberatung. Die Entwicklung sei weitgehend abgeschlossen, berichtet Mende: »Die Anlage ist nun beim Kunden im Einsatz.« Dessen Erfahrungen im Praxiseinsatz werde das IWS in Weiterentwicklungen einfließen lassen.

- 2 *Beschichtungsanlage VTD – DREVA 1050 mit IWS-Laser-Arc-Modul zur Herstellung reibmindernder Kohlenstoffschichten auf Kolbenringen.*
- 3 *Zuschnittanlage mit Positionierungstisch und Laser-/Scanner-Apparatur, um Mehrschichtfolien schichtweise zu bearbeiten.*
- 4 *Trockenbeschichtungsanlage mit IWS-Kalandereinheit zur Herstellung von Elektroden für Natrium-Ionen-Batterien bei der Firma BroadBit Batteries.*

AUSZEICHNUNGEN UND EHRUNGEN



JOSEPH-VON-FRAUNHOFER-PREIS 2018

Einem Forscherteam des Geschäftsfelds Generieren und Drucken um Prof. Dr. Frank Brückner und Dipl.-Ing. Mirko Riede ist es gelungen, die Standfestigkeit temperaturbelasteter Flugzeugtriebwerksteile zu erhöhen. Das trägt dazu bei, dass Kerosinverbrauch und Kohlendioxidemission sinken. In Kombination mit weiteren Maßnahmen ergeben sich erhebliche Kosteneinsparungen im Flugbetrieb. Das Forschungsprojekt entstand in enger Zusammenarbeit mit dem Triebwerksspezialisten Rolls-Royce. Seit Februar 2018 sind die Triebwerke im

Langstreckenflugzeug Airbus A350-1000 im Einsatz. Das Trent XWB-97 ist der exklusive Antrieb dieses Flugzeugmusters und das heute effizienteste Großtriebwerk der Welt.



EARTO INNOVATIONS AWARD 2018

»Wir sehen gute Chancen, sehr viele Tierversuche überflüssig zu machen«, betont Dr. Udo Klotzbach, Geschäftsfeldleiter Mikrotechnik am Fraunhofer IWS. Ihm und seinem Team um Dr. Frank Sonntag gelang es, einen sogenannten »Multiorgan-Chip« zu entwickeln. Die European Association of Research and Technology Organisations EARTO hat diesen daher im Wettbewerb um die »EARTO Innovation Awards 2018« mit dem dritten Preis in der Kategorie »Impact Expected« in Brüssel ausgezeichnet. Das Mikrosystem simuliert den Blutkreislauf

und die Organe von Tieren oder Menschen und soll der Industrie helfen, neue Medikamente und Kosmetika zügiger als bisher zu entwickeln. Zudem soll es die Tür zu einer individualisierten Medizin ein Stückchen weiter öffnen, in der Ärzte für jeden Patienten eine exakt passende Therapie binnen Tagen statt Jahren ermitteln können.



HANS-WALTER-HENNICKE-VORTRAGS-PREIS

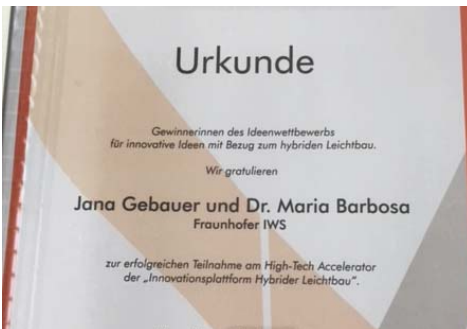
In Erinnerung an Prof. Dr. Hans-Walter Hennicke vergibt die Deutsche Keramische Gesellschaft DKG seit 1995 den Hans-Walter-Hennicke-Vortrags-Preis. Damit prämiiert sie die drei besten Vorträge, die junge Keramiker während der jährlichen DKG-Tagung über ihre Abschlussarbeit halten. Im Jahr 2018 ehrte sie mit Juliane Moritz auch eine Wissenschaftlerin am Fraunhofer IWS. Ausgezeichnet wurde sie für ihre Präsentation über das Thema »Modifying the surface topography of zirconia ceramics for improved biocompatibility«.



FRANK A. DIPIETRO AWARD

Den Austausch von Vision, Geist und Entschlossenheit in industriellen Laseranwendungen prämiiert der »Frank A. DiPietro Award«. Im vergangenen Jahr erhielt diesen Preis Prof. Dr. Ralf-Eckhard Beyer von der Fabricators & Manufacturers Association, International (FMA) während des ALAW – Advanced Laser Applications Workshops in Plymouth, Michigan, USA. Der Lenkungsausschuss wählte ihn einstimmig. Prof. Beyer beteiligt sich an den ALAW-Konferenzen bereits seit deren Geburtsstunde, hilft seither, Referenten aus Europa zu generieren,

teilt sein Wissen als Referent und nimmt selbst regelmäßig an der Konferenz teil. Das Komitee dankte ihm mit dem Preis für sein langjähriges Engagement. Die Auszeichnung geht auf den Gründer der ALAW-Konferenz, Frank A. DiPietro, zurück. Er wollte damit die Laserforscher und -anwender zusammenbringen, um Best Practices und neue Technologien auszutauschen sowie die Fertigung voranzutreiben. Er starb 2017. In seinem Gedenken hob das Steering Committee den jährlichen Award aus der Taufe.



IDEENWETTBEWERB FÜR INNOVATIVE IDEEN MIT BEZUG ZUM HYBRIDBAU

Für ihre erfolgreiche Teilnahme am »High-Tech-Accelerator« der »Innovationsplattform Hybrider Leichtbau« wurden Jana Gebauer und Dr. Maria Barbosa geehrt. Sie erhielten die Auszeichnung während der Tagung »Faszination Leichtbau« im MobileLifeCampus der Wolfsburg AG. Die jungen Forscherinnen können nun die Infrastrukturen der Open Hybrid LabFactory (OHLF) nutzen und werden außerdem mit innovativen Ideen sowie Industrialisierungs-, Kooperations- und

Verwertungspotenzial in einem High-Tech-Accelerator individuell gefördert. Veranstaltet wurde die Leichtbautagung von ITS mobility und der OHLF in Kooperation mit der AutoUni, der Allianz für die Region GmbH, dem Niedersächsischen Forschungszentrum Fahrzeugtechnik der TU Braunschweig und der Wolfsburg AG.



LOHRMANN-MEDAILLE 2018

Die Technische Universität Dresden zeichnet bereits seit 25 Jahren die besten Absolventinnen und Absolventen der Fakultäten mit der Lohrmann-Medaille aus. Unter den 16 Geehrten befand sich 2018 auch IWS-Wissenschaftlerin Juliane Moritz. Der Preis geht auf Wilhelm Gotthelf Lohrmann zurück, dem ersten Vorsteher der 1828 gegründeten Technischen Bildungsanstalt, Vorläuferin der heutigen TU Dresden.

AUS DEM KURATORIUM

Das Kuratorium berät und unterstützt die Institutsleitung sowie die Organe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 28. Zusammenkunft des Kuratoriums fand am 23. März 2018 im Fraunhofer IWS Dresden statt. Wir bedanken uns bei den Kuratorinnen und Kuratoren des vergangenen Berichtszeitraums:

REINHOLD ACHATZ, DR.

Vorsitzender des Kuratoriums
Leiter Corporate Function Technology, Innovation & Sustainability, thyssenkrupp AG, Essen

ANNEROSE BECK, DR. (Gast)

Referatsleiterin Bund-Länder-Forschungseinrichtungen,
Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst,
Dresden

JOACHIM FETZER, DR.

Geschäftsführer und Verwaltungsrat, BRUSA Elektronik AG,
Sennwald/Schweiz

RALF-MICHAEL FRANKE

CEO Factory Automation,
Digital Factory Division, Siemens AG, Nürnberg

THORSTEN FRAUENPREIß

ehem. Geschäftsführer ROFIN-SINAR Laser GmbH, Hamburg

ANDREAS HANDSCHUH, DR.

Kanzler der Technischen Universität Dresden

JÜRGEN HOHNHAUS, DR.

General Manager BA Products,
Güdel Group AG, Langenthal/Schweiz

UWE KRAUSE, DR.

Karlsruher Institut für Technologie, Projektträger Karlsruhe,
Produktion und Fertigungstechnologien,
Leiter Außenstelle Dresden

PETER G. NOTHNAGEL

Geschäftsführer Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH,
Dresden

HERMANN RIEHL, MINR

Referatsleiter Elektronik – Autonomes elektron. Fahren,
Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn

INGA STOLL, DR.

Leiterin Herstellbedingte Werkstoffeigenschaften
MTU Aero Engines AG, München

CHRISTOPH ULLMANN, DR.

Geschäftsführer Laserline GmbH,
Mülheim-Kärlich

RENÉ UMLAUFT, DR.

Geschäftsführer Römheld & Moelle Eisengießerei GmbH, Mainz

FRANZ-JOSEF WETZEL, DR.

BMW Motorrad, UX-EV, München

REINHARD ZIMMERMANN, MINR DR.

Referatsleiter Grundsatzangelegenheiten, Sächsisches
Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst, Dresden



2018 war ein ereignisreiches Jahr. Nicht nur, dass sich in der Politik in vielen Ländern Populisten in den Vordergrund geschoben haben. In Kattowitz wurde ein Regelwerk zur Umsetzung des Abkommens von 2015 in Paris verabschiedet und die Bundesregierung hat ein Programm zur Förderung von Lösungen auf Basis künstlicher Intelligenz verabschiedet, um nur einige wenige Ereignisse zu nennen. Mit der Bekämpfung der Ursachen und der Folgen des Klimawandels ist ein Megatrend entstanden, der uns noch lange begleiten wird. Es gibt nicht die einfachen Lösungen, die uns manche Politiker vorspielen wollen. Die Lösung ist eher mit einem Mosaik zu vergleichen, bei dem eine Vielzahl von Steinen zu einem stimmigen Bild zusammengefügt wird. Nur eine konsequente Kreislaufwirtschaft ist wirklich nachhaltig.

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist an einer großen Zahl dieser Projekte beteiligt. Das Projekt Carbon2Chem, bei dem aus Hüttengasen mithilfe »grünen« Wasserstoffs wertvolle chemische Rohstoffe entstehen, ist eines der bekanntesten. Die digitale Transformation betrifft alle Bereiche des Lebens, des Arbeitens und der Forschung. Dabei spielen das Verstehen und die Nutzung von Daten eine entscheidende Rolle. Auch hier ist die Fraunhofer-Gesellschaft einer der Treiber des Fortschritts. Mit der Erarbeitung der Grundlagen für den »International Data Space« ist hier ein wichtiger Baustein für die ethisch vertretbare Nutzung von Daten entstanden, bei der der Erzeuger von Daten auch die Souveränität über die Nutzung seiner Daten behält. Auch die additive Fertigung ist ein Element dieses digitalen Wandels. Mit der additiven Fertigung sind bisher undenkbar Lösungen auf Basis völlig neuartiger Designs möglich geworden. Bei den Fertigungsmethoden gibt es aber noch einen signifikanten Forschungsbedarf! Hier ist das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS einer der Technologietreiber. Die Weiterentwicklung der Lasertechnik ist aber nicht nur beim Generieren und »Drucken« neuartiger Bauteile von hoher Bedeutung. Sie kommt auch beim Laserabtragen und -trennen, beim Fügen, bei der thermischen Oberflächentechnik und in der Mikrotechnik zum Einsatz.

Besonders hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang auch der im Jahr 2018 errungene Joseph-von-Fraunhofer-Preis für die verbesserte Effizienz von Flugzeugtriebwerken. Hier ist es gelungen, mithilfe von Mikrostrukturen die Standfestigkeit von temperaturbelasteten Flugzeugtriebwerksteilen zu erhöhen. Durch diese Innovation kann der Kerosin-Verbrauch gesenkt und damit der CO₂-Ausstoß der Triebwerke reduziert werden. Die dadurch sinkenden Betriebskosten der Turbine treiben die Einführung der neuen Lösung.

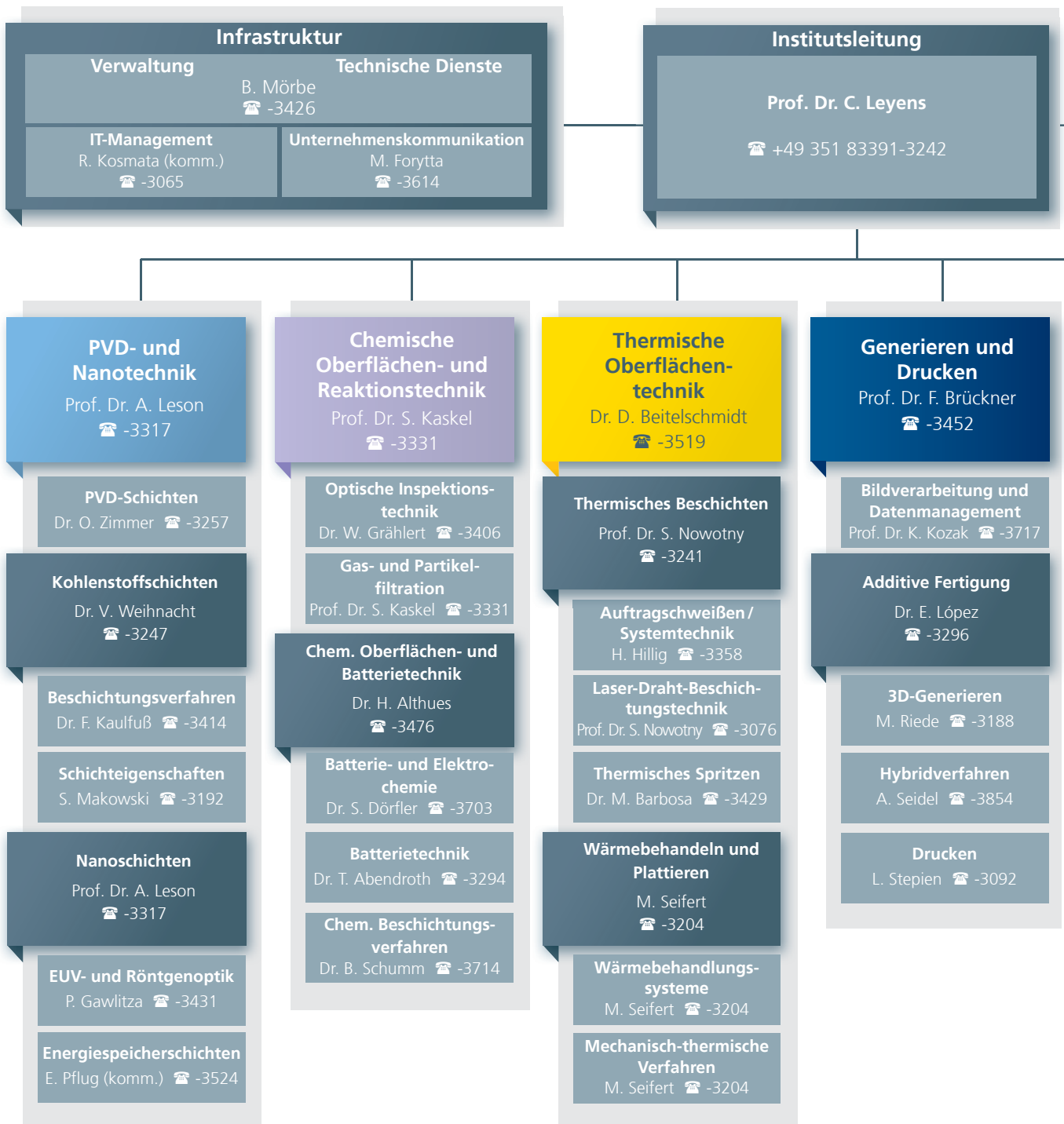
Die wissenschaftlichen Erfolge und die gute Auslastung des Instituts zeigen, dass heute neben den digitalen Fähigkeiten auch weiterhin ein ausgeprägtes Werkstoff- und Nanotechnik-Know-how verbunden mit einer umfassenden Werkstoff- und Bauteilcharakterisierung benötigt wird. Es ist gerade die Fähigkeit, diese Technologien zu kombinieren, die einen schwer zu schlagenden Erfolgsfaktor darstellt. Nach 21 Jahren am Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik und an der TU Dresden verabschiedete sich im Herbst 2018 Professor Ralf-Eckhard Beyer in den Ruhestand. Durch seine international anerkannte Expertise in der Lasertechnik hatte er die Grundlage für den Erfolg des Instituts gelegt und ausgebaut. Die Leitung des Instituts hatte er sich schon seit dem letzten Jahr mit Professor Christoph Leyens geteilt, der nahtlos dessen Erfolgsgeschichte weiterschreibt.

Das Kuratorium dankt den Kunden für ihr entgegengebrachtes Vertrauen, den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, der Institutsleitung und allen Partnern für die Zusammenarbeit, ihren Einsatz und die erreichten Ergebnisse. Wir wünschen Ihnen für die Zukunft weiterhin viel Erfolg und Gesundheit!

Ihr

Dr. Reinhold Achatz

ORGANISATION UND ANSPRECHPARTNER



Außenstellen IWS

AZOM – Zwickau
Prof. Dr. P. Hartmann ☎ +49 375 536-1538

DOC® – Dortmund
Dr. T. Roch ☎ +49 231 844-3512

Kooperationspartner

<p>PC Wrocław – Polen Prof. Dr. E. Chlebus ☎ +48 71 3200-2705</p> <p>Laser Integrated Manufacturing Prof. Dr. K. Kozak ☎ -3717</p>	<p>CCL-Group – USA Prof. Dr. C. Leyens ☎ +49 351 83391-3242</p> <p>CLA Laser Applications C. Bratt ☎ +1 734 738-0550</p> <p>CCD Coatings and Diamond Techn. Prof. Dr. T. Schülke ☎ +1 517 432-8709</p>
---	---

Laserabtragen und -trennen
Dr. A. Wetzig
☎ -3229

Laserschneiden
Dr. P. Herwig ☎ -3199

Prozessauslegung und Analyse
Dr. A. Mahrle ☎ -3407

High-Speed-Laserbearbeitung
Dr. J. Hauptmann
☎ -3236

Lasersystemtechnik
P. Rauscher ☎ -3012

Laserschneiden Nichtmetalle
Dr. J. Hauptmann ☎ -3236

Fügen
Dr. J. Standfuß
☎ -3212

Kleben und Faser-verbundtechnik
A. Klotzbach ☎ -3235

Sonderfügeverfahren
Dr. S. Schulze ☎ -3565

Laserstrahlfügen
Dr. A. Jahn
☎ -3237

Laserstrahlschweißen
Dr. D. Ditrach ☎ -3228

Bauteilauslegung
Dr. A. Jahn ☎ -3237

Mikrotechnik
Dr. U. Klotzbach
☎ -3252

Mikromaterial-bearbeitung
V. Franke ☎ -3254

Mikro- und Biosystem-technik
Dr. F. Sonntag ☎ -3259

Oberflächen-funktionalisierung
Dr. T. Kunze ☎ -3661

IWS-Zentren

Zentrum Thermische Oberflächentechnik
Dr. D. Beitschmidt ☎ -3519

Zentrum Batterieforschung
Dr. H. Althues ☎ -3476
Dr. P. Thümmeler ☎ -3215

Zentrum Tailored Joining
Dr. J. Standfuß ☎ -3212

Zentrum Energieeffizienz
Prof. Dr. C. Leyens ☎ -3242

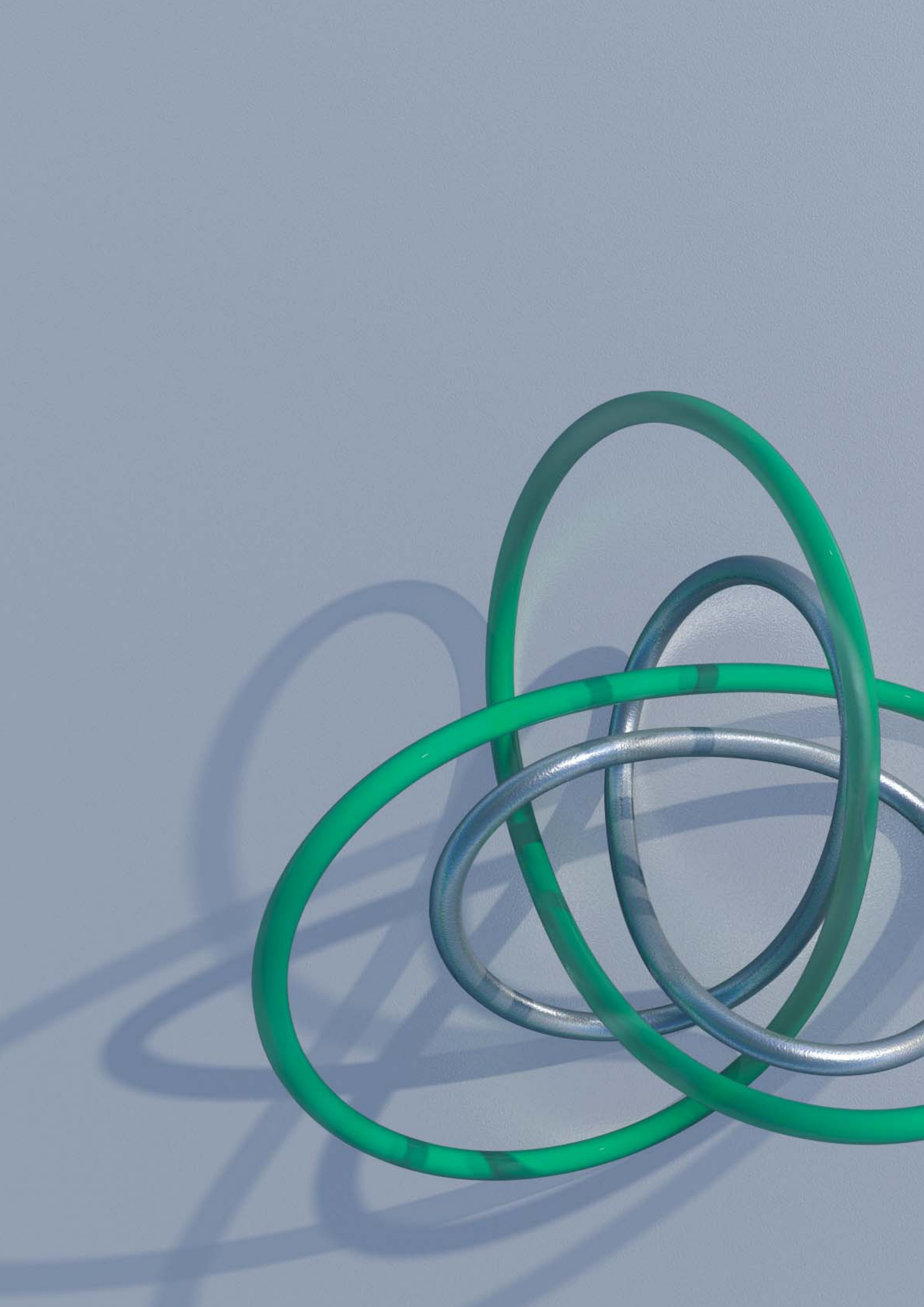
Additive Manufacturing Center Dresden AMCD
Prof. Dr. C. Leyens ☎ -3242
Prof. Dr. F. Brückner ☎ -3452

Center for Advanced Micro Photonics CAMP
Dr. U. Klotzbach ☎ -3252
Prof. Dr. A. Lasagni ☎ -3007

Kompetenzfeld Werkstoffcharakterisierung und -prüfung
Prof. Dr. M. Zimmermann
☎ -3573

Werkstoff- und Schadensanalytik
Dr. J. Kaspar ☎ -3216

Werkstoff- und Bauteilprüfung
Prof. Dr. M. Zimmermann ☎ -3573



AUS DEN GESCHÄFTSFELDERN

PVD- UND NANOTECHNIK

CHEMISCHE OBERFLÄCHEN- UND
REAKTIONSTECHNIK

THERMISCHE OBERFLÄCHENTECHNIK

GENERIEREN UND DRUCKEN

FÜGEN

LASERABTRAGEN UND -TRENNEN

MIKROTECHNIK

WERKSTOFFCHARAKTERISIERUNG
UND -PRÜFUNG



PVD- UND NANOTECHNIK



Geschäftsfeldleiter **Prof. Dr. Andreas Leson**

DAS GESCHÄFTSFELD

Hart, reibungsarm, reflektierend oder auch elektrisch leitend – das Geschäftsfeld PVD- und Nanotechnik steht für einzigartige Oberflächen. Entwickelt und erforscht werden Verfahren zur Herstellung unterschiedlicher Schichten und Schichtsysteme, die auf physikalisch gestützten Abscheidungsverfahren basieren. Die Beschichtungslösungen des Geschäftsfeldes eignen sich für verschiedenste Anwendungen. Dabei richten die Wissenschaftler ein starkes Augenmerk auf die Herstellung und Anwendung extrem harter Kohlenstoffschichten, die sich durch ihre Verschleißbeständigkeit und geringe Reibung auszeichnen. Zunehmend rücken neben tribologischen auch funktionelle Eigenschaften in den Fokus: Simulationsverfahren und ein geeignetes Design ermöglichen auf den Anwendungsfall optimierte Schichtsysteme. Eine weitere Kompetenz des Geschäftsfeldes liegt in der Herstellung äußerst präziser Multischichten, die atomar genau abgeschieden werden. Ebenso erforschen und entwickeln die Wissenschaftler Hartstoffschichten mit Dicken von bis zu 100 Mikrometern, um die Widerstandsfähigkeit und Haltbarkeit von Maschinenkomponenten oder Werkzeugen zu erhöhen. Das Aufgabenspektrum umfasst neben der Erforschung von Beschichtungsprozessen auch die Entwicklung der jeweils zugehörigen Anlagentechnik.

**Abteilungsleiter
Nanoschichten**



Prof. Dr. Andreas Leson (komm.)
 ☎ +49 351 83391-3317
 ✉ andreas.leson@iws.fraunhofer.de

**Abteilungsleiter
Kohlenstoffschichten**



Dr. Volker Weihnacht
 ☎ +49 351 83391-3247
 ✉ volker.weihnacht@iws.fraunhofer.de

**Gruppenleiter
Energiespeicherschichten**



Dipl.-Ing. Erik Pflug (komm.)
 ☎ +49 351 83391-3524
 ✉ erik.pflug@iws.fraunhofer.de

**Gruppenleiter
Beschichtungsverfahren**



Dr. Frank Kaulfuß
 ☎ +49 351 83391-3414
 ✉ frank.kaulfuss@iws.fraunhofer.de

**Gruppenleiter
PVD-Schichten**



Dr. Otmar Zimmer
 ☎ +49 351 83391-3257
 ✉ otmar.zimmer@iws.fraunhofer.de

**Gruppenleiter
EUV- und Röntgenoptik**



Dipl.-Phys. Peter Gawlitza
 ☎ +49 351 83391-3431
 ✉ peter.gawlitza@iws.fraunhofer.de

**Gruppenleiter
Schichteigenschaften**



Dipl.-Ing. Stefan Makowski
 ☎ +49 351 83391-3192
 ✉ stefan.makowski@iws.fraunhofer.de

REIBUNGSARM UND SUPERHART: NEUE GROSSANLAGE FÜR TA-C-BESCHICHTUNGEN

Superharte amorphe Kohlenstoffschichten (ta-C) vereinen hohe Härte mit geringer Reibung und eignen sich deshalb hervorragend für den Einsatz als Verschleißschicht. Anwendung finden sie auf stark beanspruchten Bauteilen von Maschinen und Motoren sowie für Werkzeuge zur Zerspaltung und Umformung.

In Zusammenarbeit mit VTD Vakuumtechnik Dresden GmbH entwickelte das Fraunhofer IWS eine ta-C-Großbeschichtungsanlage. Die DREVA 1200 bildet in Verbindung mit der Laser-Arc-Plasmaquelle LAM 850 eine geeignete Grundlage für die weitere Industrialisierung der ta-C-Beschichtungstechnik. Kombiniert mit einem Plasmafilter lassen sich großflächig reibungsarme Schichten mit Härten von mehr als 70 Gigapascal zuverlässig abscheiden. Die optimierte Haftschrifttechnik ermöglicht es, auch größere Schichtdicken von einigen Mikrometern zu erzeugen.

Präzise Steuerung und Plasmaverteilung

Von der Grundidee bis zur Serienreife entwickelten Wissenschaftler des Fraunhofer IWS die Laser-Arc-Technik zur industriellen Herstellung von ta-C-Schichten. Die Verwendung einer Laserquelle zum hochfrequenten Zünden einer gepulsten Vakuumbogenentladung auf rotierenden Grafitzylindern ermöglicht eine präzise Steuerung der Plasmaverteilung über die Beschichtungshöhe sowie eine langzeitstabile, effiziente Beschichtung. Dieses Prinzip ist gut skalierbar, sodass nun für verschiedene Anwendungszwecke Plasmaquellen mit 400, 500 und 850 Millimetern Beschichtungshöhe zur Verfügung stehen. Eine unvermeidbare Begleiterscheinung der Vakuumbogenentladung auf dem Grafit ist die Emission von einigen Mikrometern großen Clustern. Diese werden in die aufwachsende Schicht eingeschlossen und erhöhen damit deren Rauheit. Die eingebauten Defekte reduzieren die Temperatur- und die Korrosionsbeständigkeit der Schicht. Aufgrund der hohen Anforderungen

an die Schichteigenschaften muss das Plasma gefiltert werden, um die Cluster abzutrennen. Dazu wurde die Plasmaquelle um einen modular verwendbaren Filter erweitert. Dessen Wirkungsweise basiert darauf, die elektrischen Eigenschaften des Plasmas auszunutzen. Dabei werden die geladenen Teilchen in die Beschichtungskammer gelenkt. Die neutralen Cluster bleiben hingegen unbeeinflusst und werden zum Großteil in der Filterstruktur abgefangen.

DREVA 1200 bemustert große Bauteile

Für die Großbeschichtungsanlage DREVA 1200 übertrugen die IWS-Ingenieure die bei kleineren Laser-Arc-Plasmaquellen gewonnenen Erkenntnisse auf ein Modul mit einer Beschichtungshöhe von 850 Millimetern (LAM 850). Dieses Modul ist mit einem Plasmafilter der neusten Generation ausgestattet und der Beschichtungsprozess vollständig automatisierbar. Der leistungsstarke Pumpstand der Großbeschichtungsanlage erlaubt kurze Zykluszeiten und die eingesetzte Sputterquelle von 1200 Millimetern Beschichtungshöhe homogene und glatte Haftvermittlerschichten. Die Dimension der Beschichtungskammer ermöglicht es, große Bauteile zu bemustern, und trägt dazu bei, weitere Anwendungen für die ta-C-Beschichtung zu erschließen. Dazu zählen vor allem die Technologiefelder, in denen Reibung und Verschleiß ein Problem darstellen. Bereits bewährt haben sich die ta-C-Schichten bei der Kolbengruppe in Verbrennungsmotoren. Hier kommen reibungsmindernde ta-C-Schichten auf Kolbenringen bereits serienmäßig zum Einsatz.



So geht es weiter

Der nächste Entwicklungsschritt soll sich in Richtung Beschichtung komplexer, stark beanspruchter Konturen (zum Beispiel Zahnräder) vollziehen. Weitere Einsatzgebiete betreffen Zerspanungs- und Umformwerkzeuge. So profitieren Werkzeuge für die Zerspanung von Nichteisenmetallen und abrasiven faserverstärkten Kunststoffen von der hohen Härte der ta-C-Schichten und ebenso von der geringen Klebneigung der Materialien auf der Oberfläche des Kohlenstoffs. Dies führt zu in einer um den Faktor zwei bis fünf erhöhten Standzeit gegenüber konventionell beschichteter Werkzeugen bei gleichzeitig höherer Qualität des bearbeiteten Werkstücks. Analog wirken sich diese Eigenschaften auch positiv auf Umformwerkzeuge aus und sorgen dort für längere Standzeiten sowie geringeren Wartungsaufwand bei gleichzeitig erhöhter Maßhaltigkeit. Besonders gute Ergebnisse wurden mit Werkzeugen für die Aluminiumumformung erzielt, denn die glatten ta-C-Oberflächen verhindern die Anhaftung des Metalls. Ein weiterer Vorteil von ta-C liegt in der biologischen Unbedenklichkeit, sodass dessen Einsatz in der Lebensmittelindustrie sowie auch auf medizinischen Produkten interessant ist – vom Werkzeug bis zum Implantat.

- 1 *Das LAM-850-Modul (links unten) verfügt über einen Filter, der Makropartikel abtrennt und nur das Plasma in die Beschichtungskammer (rechts) leitet. Dadurch entstehen glattere Schichten.*
- 2 *Draufsicht des Substrathalters mit Rohrsegmenten und Prüfkörperhalter der DREVA 1200.*

KONTAKT

Dr. Frank Kaulfuß

Beschichtungsverfahren

☎ +49 351 83391-3414

✉ frank.kaulfuss@ivs.fraunhofer.de



MASSGESCHNEIDERTES REAKTIVES FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN

Der Bedarf an innovativen Leichtbauweisen treibt die Entwicklung neuartiger Materialien und Materialkombinationen voran. Vor allem im Einsatz von Kunststoffen liegt ein großes Potenzial. Damit wachsen auch die Herausforderungen an die Verfahren, mit denen Kunststoffe untereinander und mit anderen Werkstoffen gefügt werden können.

Konventionelle Fügeprozesse wie das Schweißen von Metallen tragen zumeist hohe Wärme in das Bauteil ein, wobei nicht nur die Fügestelle erhitzt wird. Dadurch entstehen Veränderungen in der Werkstoffmikrostruktur, die unerwünschte Eigenschaftsdegradationen bewirken und vermieden werden sollen. Andere Prozesse wie das Kleben sind alterungsanfällig und erfordern Vor- und Nachbehandlungen, die zu zeit- und kostenintensiven Prozessen führen können. Das Fügen mit reaktiven Multischichtsystemen (RMS) bietet eine Möglichkeit, Grenzen der herkömmlichen Verbindungstechnologien zu überwinden. RMS sind maßgeschneiderte Wärmequellen, die aus zwei lagenweise abwechselnd angeordneten chemischen Elementen bestehen. Wird in dieses System eine Aktivierungsenergie eingebracht, entsteht eine selbstfortschreitende exotherme Reaktion, die spontan Wärme freisetzt. Diese wird auch zum Anschmelzen thermoplastischer Kunststoffe genutzt. Unter zusätzlichem Fügedruck lässt sich somit eine stoffschlüssige Verbindung erreichen. Wissenschaftler des Fraunhofer IWS haben die RMS-Technologie für schädigungsfreie und feste Kunststoffverbindungen ohne jegliche Vor- und Nachbehandlung entwickelt. Dabei wurde neben der Auswahl des geeigneten RMS vor allem der Fügedruck angepasst, und die Oberflächenbeschaffenheit der Fügepartner beachtet. Während der geeignete RMS-Typ vor allem der Beschädigung der thermoplastischen Matrix vorbeugt, sind Fügedruck und Rauheit der Oberfläche entscheidend für eine hohe Festigkeit. Für viele thermoplastische Kunststoffe erreichten die Wissenschaftler somit Verbindungsfestigkeiten zwischen 20 und 30 Megapascal. RMS-Verbindungen thermo-

plastischer Kunststoffe sind vor allem dann langzeitstabil, wenn auch der Grundwerkstoff selbst beständig ist. Sehr gute Stabilitäten bei verschiedenen Alterungsuntersuchungen zeigen etwa die thermoplastischen Kunststoffe Polyphenylsulfid, Polycarbonat und teilweise Polyamid 6. Neben reinen Kunststoffverbindungen besteht ein Interesse am Fügen von Kunststoff-Metall-Verbindungen. Die RMS-Technik erweist sich auch für die Herstellung fester Hybridverbindungen als geeignet.

Teile dieser Arbeiten wurden durch das IGF-Vorhaben 19069 BG, sowie 19035 BR/1 der Forschungsvereinigung des Deutschen Verbandes für Schweißen und Verwandte Verfahren e. V. (DVS) über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert vom



KONTAKT

Dipl.-Ing. Erik Pflug

Energiespeicherschichten

☎ +49 351 83391-3524

✉ erik.pflug@iws.fraunhofer.de





1

VERFORMBARE HARTSTOFFSCHICHTEN – NEUE PERSPEKTIVEN IM VERSCHLEISSCHUTZ

Innovative Konzepte für Hartstoffschichten auf Basis nanoskaliger Kristallstrukturen erlauben die Einstellung neuer Eigenschaftskombinationen, wie zum Beispiel hohe Härte in Verbindung mit erheblich reduzierter Rissanfälligkeit bei Verformung. Dadurch lassen sich künftig Komponenten zuverlässig vor Verschleiß schützen, bei denen eine moderate Verformung im Einsatz nicht zu verhindern oder gar gewünscht ist.

Dünne Hartstoffschichten werden zum Verschleißschutz von Werkzeugen und Bauteilen eingesetzt. Meist handelt es sich dabei um Nitride, Karbide, Oxide oder Boride von Metallen, wie zum Beispiel Titannitrid, Titanaluminiumnitrid oder Chromaluminiumnitrid. Weitere relevante Schichttypen bilden das Bornitrid sowie verschiedene Modifikationen des Kohlenstoffs. Die Schichten kennzeichnen sich durch hohe Grade an Härte, E-Modul und Schmelz- sowie Siedetemperaturen im Vergleich zu den zugehörigen Metallen. Die Härte dieser Schichten ist typischerweise an eine ausgeprägte Sprödigkeit mit sehr geringer Bruchdehnung gekoppelt. Deren Anwendung beschränkt sich daher auf Einsatzgebiete mit sehr geringer Verformung des Grundwerkstoffs, wie Zerspanungswerkzeuge aus Hartmetall. Für viele Verschleißschutzanwendungen fehlten bislang geeignete Beschichtungslösungen. So werden bis heute kaum Umformwerkzeuge beschichtet. Auch für Komponenten aus Leichtmetallen sind haltbare Verschleißschutzschichten kaum verfügbar. Die Gründe liegen vor allem in der Sprödigkeit der Schichten. Schon bei leichter Verformung des Grundwerkstoffs bilden sich Risse und die Schichten versagen. Neue Schichtkonzepte auf Basis nanostrukturierter Hartstoffe bieten im Vergleich zu den traditionellen Schichten vor allem eine höhere Härte und Temperaturbeständigkeit. Dies bildet unter anderem die Grundlage für die hohe Leistungsfähigkeit moderner Zerspanungswerkzeuge. Wissenschaftlern des Fraunhofer IWS Dresden ist es nun gelungen, diese Schichteigenschaften mit einer gesteigerten Duktilität zu kombinieren. Auf der Grundlage eines Designs auf Basis wechselnder, dünner Lagen aus AlCrSiN und

TiN wurden Schichten hergestellt, die mit Werten von 25 bis 30 Gigapascal sowohl hart als auch vergleichsweise duktil sind und eine rissfreie Verformung um bis zu zwei Prozent ermöglichen. Dies ist ein Novum. Darüber hinaus können diese Schichten in Dicken von über 100 Mikrometern hergestellt werden. Damit ergeben sich grundlegend neue Möglichkeiten für den Einsatz von Verschleißschutzschichten. Erste industrielle Anwendungen auf Schmiedewerkzeugen belegen die erreichbare Leistungsfähigkeit. Trotz extremer Belastung der Oberflächen und massiver Verformung der Werkzeuge im Einsatz bleiben die Schichten intakt. Weitere Anwendungen sind denkbar, etwa für den Schutz von Leichtmetallkomponenten. Insbesondere Schichten in Dicken von einigen zehn Mikrometern sind dabei von Vorteil.

1 *Beschichtete Werkzeuge zum Schmieden von Getriebeteilen: Im Einsatz teilweise verformt, halten duktile Hartstoffschichten Belastungen stand, unter denen spröde Beschichtungen brechen und sehr früh ausfallen würden.*

KONTAKT

Dr. Otmar Zimmer

PVD-Schichten

☎ +49 351 83391-3257

✉ otmar.zimmer@iws.fraunhofer.de





WASSER ALS SCHMIERSTOFF

In vielerlei Hinsicht wäre Wasser ein attraktiver Schmierstoff, wenn es nicht aufgrund seiner geringen Tragfähigkeit in klassischen Metallkontakten zum unerwünschten Verschweißen der Kontaktflächen führen würde. Für tetraedrisch amorphe Kohlenstoffschichten stellen Wasser und wässrige Lösungen jedoch ideale Schmierstoffe dar. Denn sie passivieren harte sowie glatte Oberflächen und ermöglichen nachhaltig optimale Gleitbedingungen.

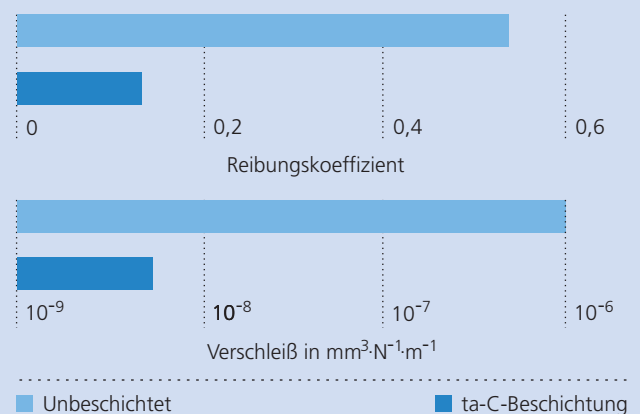
Verfügbarkeit, geringe Kosten, beste Umweltverträglichkeit und hohes Kühlvermögen machen Wasser zum attraktiven Schmierstoff. Aufgrund der niedrigen Viskosität bildet es jedoch nur unter bestimmten Bedingungen einen schützenden Schmierfilm. In den häufig genutzten Metall-Metall-Kontakten kommt es dann zur Kaltverschweißung der berührenden Oberflächen, die mit hoher Reibung und Verschleiß bis zum Ausfall des Gleitkontakts einhergeht. Im Regelfall werden deshalb ölbasierte Schmierstoffe eingesetzt, die eine Abdichtung und oft auch Reservoir, Filter und Kreislaufsystem erfordern. Stellt Wasser zwangsläufig den Schmierstoff dar, beispielsweise in einer Wasserpumpe, werden aufwendige nichtmetallische Werkstoffe wie Sinterkeramik oder diamantbeschichtete Oberflächen notwendig.

Als Schmiermittel für ta-C-Schichten geeignet

Forscher des Fraunhofer IWS fanden heraus, dass Wasser für die wasserstofffreien tetraedrisch amorphen Kohlenstoffschichten (ta-C) des IWS ein überaus geeignetes Schmiermittel darstellt. Es passiviert die glatte Oberfläche, unterbindet das Kaltverschweißen mit dem Gegenkörper und senkt damit Reibung und Verschleiß erheblich. Bereits bei Beschichtung eines Reibpartners verbessern sich die tribologischen Eigenschaften beträchtlich. Wirtschaftlich attraktiv wird das Wasser als Schmiermittel beispielsweise, wenn sich Keramikkomponenten durch beschichtete Stahlkomponenten oder eine Ölschmierung samt der nötigen Infrastruktur ersetzen lassen. Diese gute tribologische Eigenschaft der ta-C-Schicht, die auch für weitere wasserbasierte Stoffe wie Salzlösungen, Laugen und Säuren

gilt, erlaubt völlig neue ölfreie Gleitsysteme für die Lebensmittelverarbeitung, Chemie und Offshore-Industrie, Medizintechnik sowie Unterwasseranwendungen.

Vergleich Reibung und Verschleiß bei wassergeschmierter Stahlpaarung mit und ohne ta-C Beschichtung.



Mit der Beschichtung nur eines der beiden Reibpartner mit ta-C verbessert sich im tribologischen Modellversuch mit Wasserschmierung die Reibung mindestens um den Faktor 3 gegenüber der unbeschichteten Paarung. Der Verschleiß sinkt sogar um mehr als den Faktor 100 im Falle der ta-C-Beschichtung.

- 1 Für die wasserstofffreien tetraedrisch amorphen Kohlenstoffschichten des IWS stellt Wasser ein überaus geeignetes Schmiermittel dar.

KONTAKT

Dipl.-Ing. Stefan Makowski

Schichteigenschaften

+49 351 83391-3192

stefan.makowski@iws.fraunhofer.de



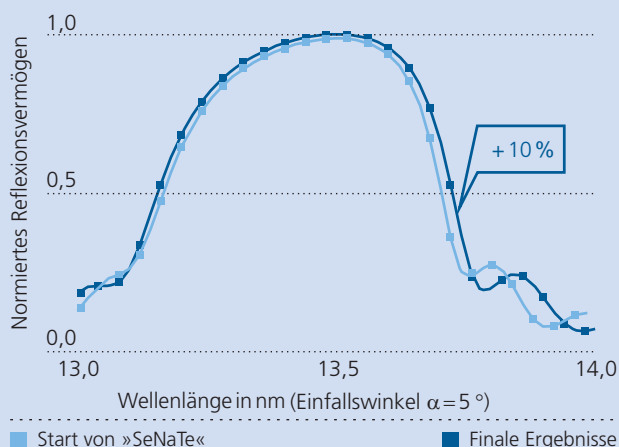
BESCHICHTUNGEN FÜR EUV-PROJEKTIONS- OPTIKEN DER NEUESTEN GENERATION

Lithographiesysteme der nächsten Generation bildeten den Schwerpunkt des dreijährigen EU-Projekts »Seven Nanometer Technology« (SeNaTe). Im Fokus des IWS standen dabei Spiegelbeschichtungen von Belichtungsoptiken für Chipstrukturen des 7-Nanometer-Technologieknotens.

Innerhalb des SeNaTe-Projekts befassten sich die Wissenschaftler des IWS mit der Entwicklung verbesserter Beschichtungsverfahren für die reflektierenden Multischichtspiegel der sogenannten High-Numerical-Aperture- oder auch High-NA-Projektionsoptiken. Diese Optiksysteme zeichnen sich durch komplexe Oberflächengeometrien und hohe Aperturen aus. Das erfordert neben höchstem Reflexionsvermögen auch komplexe und äußerst präzise Schichtdickenverläufe sowie gleichzeitig geringste Schichtverspannungen. Ein wichtiges Ziel der Entwicklungsarbeiten an den plasmagestützten Abscheideverfahren bestand darin, die hochfrequenten Oberflächenrau-

heiten (HSFR) aller beteiligten Grenzflächen im Schichtstapel zu verringern. Auf diese Weise gelang es den IWS-Forschern, die Maximalreflektivität eines Einzelspiegels bei 13,5 Nanometern Arbeitswellenlänge um mehr als zwei Prozent im Vergleich zum herkömmlichen Verfahren zu steigern. Die über den EUV-Peak spektral integrierte Intensität steigt dabei um mehr als zehn Prozent. Aufgrund der hohen Anzahl reflektierender Oberflächen in High-NA-Objektiven erzielen diese Verbesserungen eine beträchtliche Transmissionssteigerung des Gesamtsystems. Für die Leistungsfähigkeit und den Waferdurchsatz der Lithographiesysteme der neuesten Generation sind diese optischen Parameter entscheidend. Die industrielle Einführung der EUV-Lithografie in die Halbleiterfabs ab dem 7-Nanometer-Technologieknoten (und darunter) ist derzeit im vollen Gange – auch dank der Ergebnisse des SeNaTe-Projekts.

Reflexionsspektrum der neuesten EUV-Spiegelbeschichtung des IWS



Die EUV-Spiegeloptiken weisen wegen der optimierten Beschichtung und des verbesserten Stapeldesigns sowohl eine höhere Peakreflektivität als auch einen spektral breiteren Reflexionsverlauf auf. Die über den EUV-Peak spektral integrierte Intensität steigt um mehr als zehn Prozent im Vergleich zum Standardverfahren.

Gefördert vom



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Freistaat
SACHSEN



ECSEL Joint Undertaking
Electronic Components and Systems for European Leadership

FKZ: 16ESE0044S

Grant Agreement no.: 662338

KONTAKT

Dipl.-Phys. Peter Gawlitza

EUV- und Röntgenoptik

+49 351 83391-3431

✉ peter.gawlitza@iws.fraunhofer.de



CHEMISCHE OBERFLÄCHEN- UND REAKTIONSTECHNIK



Geschäftsfeldleiter **Prof. Dr. Stefan Kaskel**

DAS GESCHÄFTSFELD

Die Batterien der nächsten Generation erforscht das Geschäftsfeld Chemische Oberflächen- und Reaktionstechnik. Elektromobilität und stationäre Energiespeicher zählen zu den zentralen Themen. Entwickelt werden Methoden für die schnelle, effiziente und sichere Fertigung. Im Mittelpunkt steht die Lithium-Schwefel-Technologie, erforscht werden aber auch weitere innovative Ansätze wie etwa die Festkörperbatterie. Die Grundlage bildet ein tiefgründiges Verständnis der chemischen Prozesse innerhalb der Batterie. Auf dieser Basis entwickeln die Wissenschaftler des Fraunhofer IWS Dresden die passende Systemtechnik und nutzen Monitoring- sowie Charakterisierungsmethoden, um Prozesse sowie Beschichtungen zügig mit bildgebenden Verfahren für jegliches Flächenmaß zu analysieren. In der Oberflächenanalytik verbindet das Geschäftsfeld vertieftes Fachwissen in der Systementwicklung mit ausgereifter Werkstoffkenntnis. Egal, ob es sich um Beschichtungs- oder Grundwerkstoffe handelt – unsere Wissenschaftler kennen die physikalischen Eigenschaften und ihr Anwendungsprofil genau und bieten maßgeschneiderte Methoden zur Oberflächenevaluierung, wie die optische Inspektionstechnik mittels hyperspektraler Bildgebung.

Abteilungsleiter Chemische
Oberflächen- und Batterietechnik



Dr. Holger Althues

☎ +49 351 83391-3476

✉ holger.althues@iws.fraunhofer.de

Gruppenleiterin
Batterie- und Elektrochemie



Dr. Susanne Dörfler

☎ +49 351 83391-3703

✉ susanne.doerfler@iws.fraunhofer.de

Gruppenleiter
Batterietechnik



Dr. Thomas Abendroth

☎ +49 351 83391-3294

✉ thomas.abendroth@iws.fraunhofer.de

Gruppenleiter Chemische
Beschichtungsverfahren



Dr. Benjamin Schumm

☎ +49 351 83391-3714

✉ benjamin.schumm@iws.fraunhofer.de

Gruppenleiter
Optische Inspektionstechnik



Dr. Wulf Grählert

☎ +49 351 83391-3406

✉ wulf.graehlert@iws.fraunhofer.de

Gruppenleiter
Gas- und Partikelfiltration



Prof. Dr. Stefan Kaskel (komm.)

☎ +49 351 83391-3331

✉ stefan.kaskel@iws.fraunhofer.de

UMWELTFREUNDLICHE HERSTELLUNG VON BATTERIEELEKTRODEN OHNE LÖSUNGSMITTEL

Mit den stetig wachsenden Zahlen an Elektrofahrzeugen und portablen elektronischen Geräten steigt auch der Bedarf an kosteneffizienten Herstellungsverfahren für Batteriezellen. Insbesondere bei der Batterieelektrodenherstellung kommen derzeit jedoch noch energie- und kostenaufwendige Prozesse zum Einsatz. Dafür stellt das IWS-Trockenfilmverfahren eine geeignete Alternative dar.

Wie kann man die Kosten zukünftiger Batteriezellen weiter senken? Diese Frage beantworten Wissenschaftler des Fraunhofer IWS mit zwei Ansätzen: Neben der Materialentwicklung für den Einsatz kostengünstiger Aktivmaterialien stellen vor allem alternative Fertigungsprozesse für Batterieelektroden eine entscheidende Stellschraube dar. Aktuell werden die Batterieelektroden in einem vierstufigen Verfahren hergestellt. Dafür werden die Aktivmaterialien und Additive gemischt und mit einem organischen Lösungsmittel zu Pasten verarbeitet. Aufgetragen auf dünne Metallfolien erfolgt abschließend ein intensiver Trocknungsschritt. Dieses ist besonders aufwendig, wenn toxische organische Lösungsmittel zum Einsatz kommen, die nicht in die Umwelt freigesetzt werden dürfen. Sie werden über Destillationsprozesse aufgereinigt und für die erneute Verwendung im Prozess zurückgewonnen. Die Entwicklungen zielen darauf ab, die auf toxischen Stoffen basierten Prozesse durch umweltfreundliche und kosteneffizientere Verfahren auf Wasserbasis zu ersetzen. Jedoch kommen immer häufiger wasserempfindliche Batteriematerialien zum Einsatz, sodass die pastenbasierte Elektrodenherstellung in einer Sackgasse steckt. Einen Ausweg bieten lösungsmittelfreie Beschichtungsverfahren. Die Batterieforscher des Fraunhofer IWS nutzen diese bereits seit einigen Jahren für ihre Versuche zur Materialentwicklung im Labormaßstab. Dabei kommen sie komplett ohne die Verwendung von Lösungsmitteln aus. Den Schlüssel stellt ein Binder dar, der im Gemisch mit dem Aktivmaterial unter der Einwirkung von Scherkräften sogenannte Fibrillen ausbildet. Ähnlich den Fäden eines Spinnennetzes

halten diese die Aktivmaterialpartikel zusammen. Dies erlaubt die Verarbeitung des Gemisches zu Schichten auf metallischen Stromableiterfolien.

Erfolgreiche Batteriezelltests im Labor

Die Forscher am IWS erprobten diese Form der Elektrodenherstellung bereits für unterschiedliche Batteriezelltechnologien im Labormaßstab. Sowohl Aktivmaterialien für Lithium-Ionen-Batterien, wie Lithium-Nickel-Mangan-Cobalt-Oxid (NMC), als auch Batteriematerialien der nächsten Generation wurden erfolgreich verarbeitet und in Batteriezellen getestet. Auf diese Weise war es möglich, Kathoden für sogenannte Lithium-Schwefel-Batterien herzustellen. Mit diesen Kathoden ließen sich Batteriezellen mit einem höheren Energiegehalt (360 Wattstunden pro Kilogramm) herstellen als es mit heutiger Lithium-Ionen-Technologie (250 Wattstunden pro Kilogramm) möglich ist. Gemeinsam mit dem finnischen Start-up-Unternehmen BroadBit Batteries Oy entwickelte das IWS zudem Trockenfilmelektroden für eine Natrium-Ionen-basierte Batterietechnologie. Diese besticht durch die geringen Kosten der eingesetzten Aktivmaterialien.

Neuer Standard in Forschung und Entwicklung

Ein Ziel des Fraunhofer IWS besteht darin, kompakte Trockenfilmkalandere zur Elektrodenherstellung als Ergänzung zu den weitverbreiteten Rakelverfahren in den Laboren der Batterieforschung weltweit zu etablieren. In einem interdisziplinären



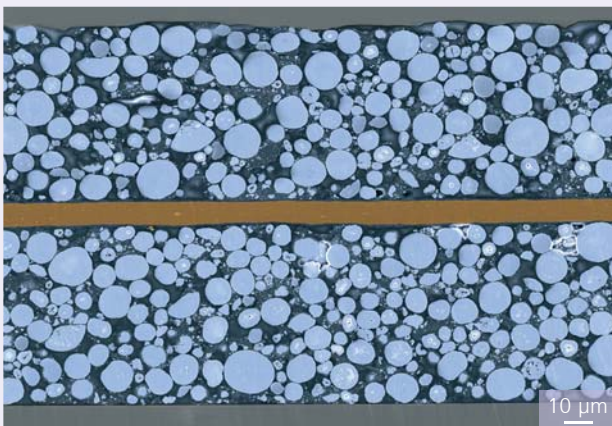
Team aus Maschinenbauingenieuren sowie Material- und Naturwissenschaftlern entwickelten die Wissenschaftler ein Gerät, das die Herstellung von Trockenfilmelektroden auf zehn Zentimetern Breite im Labormaßstab effizient und reproduzierbar ermöglicht. Das kompakte Tischgerät erlaubt zudem die Verarbeitung extrem feuchtigkeitssensibler Materialien, wie sie in Festkörperbatterien zum Einsatz kommen. Dafür lässt sich das Gerät unter Trockenluft oder sogar in Schutzgashandschuhboxen betreiben.

Entwicklung von Prototypanlagen

Nicht nur im Labormaßstab forschen und entwickeln die Batterieexperten an Lösungen, auch im Hinblick auf Prozesse und Systemtechnik im Prototypmaßstab sind sie bereits aktiv. Mit einem innovativen Pulver-zu-Rolle-Verfahren gelang es, den Trockenfilmprozess zur kontinuierlichen Herstellung von Batterieelektroden auf bis zu zwanzig Zentimeter breite Rollenware

zu übertragen. Dies stellt einen für die industrielle Anwendbarkeit des Verfahrens entscheidenden Entwicklungsschritt dar. Auch hier sind es die Ingenieure und Wissenschaftler des IWS, die Prototypenanlagen und Systemtechnik gestalten, um dieses neuartige Elektrodenherstellungsverfahren produktionstechnisch näher zu erforschen. Im Rahmen des europäischen Verbundprojekts DryProTex arbeiten sie mit Material- und Zellherstellern sowie Anlagen- und Maschinenherstellern zusammen, um den technologischen Reifegrad des innovativen Trockenfilmverfahrens weiter in Richtung industrieller Prozessführung zu steigern. Auf diese Weise wird es demnach zukünftig möglich sein, Batterieelektroden ohne toxische Lösungsmittel herzustellen. Auch die kostenaufwendigen Trocknungsschritte lassen sich vermeiden, sodass neuartige Materialien zum Einsatz kommen können. Somit leistet das Fraunhofer IWS einen maßgeblichen Beitrag zur Senkung der Herstellungskosten von Batteriezellen.

Rasterelektronenmikroskopische Querschnittsaufnahme einer im IWS-Trockenfilmverfahren hergestellten NCM-Elektrode (Lithium-Nickel-Cobalt-Mangan-Oxid)



Der IWS-Prozess zur lösungsmittelfreien Elektrodenherstellung macht es möglich, eine Vielzahl von Aktivmaterialien zu verarbeiten. In der Abbildung ist eine beidseitig mit NCM (blau eingefärbt) beschichtete 10 µm dünne Aluminiumfolie (orange eingefärbt) zu erkennen. Der extrem geringe Binderanteil ermöglicht es, hochverdichtete Elektroden mit guter Elektrolytzugänglichkeit auf ultradünnen Metallfolien herzustellen.

- 1 Die Prototypanlage des Fraunhofer IWS stellt kontinuierlich und lösungsmittelfrei Elektroden her. Meterlange Trocknungsstrecken sowie Anlagen zur Lösungsmittelrückgewinnung werden dadurch obsolet.
- 2 Mit dem kompakten Trockenfilmkalandrier können Batterieelektroden lösungsmittelfrei im Labormaßstab hergestellt werden. Das IWS führt mit dem Tischgerät eine Alternative zu etablierten Filmziehgeräten für Forschung und Entwicklung ein.

Gefördert vom



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

FKZ: 02P17E010

KONTAKT

Dr. Benjamin Schumm

Chemische Beschichtungsverfahren

☎ +49 351 83391-3714

✉ benjamin.schumm@iws.fraunhofer.de





NEUE MATERIALIEN UND PROZESSE FÜR ZUKÜNFTIGE BATTERIESYSTEME

Das »WING-Zentrum: Batterie – mobil in Sachsen (BamoSa)« steht seit 2013 für exzellente Batterieforschung in Dresden. Aktuelle Arbeiten an nano- und mikrostrukturierten Silizium-Anoden zeigen deren Potenzial, die Energiedichte herkömmlicher Lithium-Ionen-Zellen um bis zu 40 Prozent zu steigern. Eine geschlossene Prozesskette am Fraunhofer IWS ermöglicht die Demonstration der neuen Materialansätze in Prototypzellen.

Unter der Koordination des IWS erarbeiten Dresdner Wissenschaftler im BamoSa neue Lösungsansätze zur Steigerung der Energiedichte von Lithium-Ionen-Batteriezellen. So soll perspektivisch der Energieinhalt pro Volumen von 600 bis 700 auf über 1000 Wattstunden pro Liter erhöht werden. Zu den wesentlichen Zielen gehört eine höhere Reichweite von Elektrofahrzeugen bei gleichbleibendem Bauraum für die Batterie. Eine Steigerung der Energiedichte um mehr als 40 Prozent gegenüber der ausgereiften Lithium-Ionen-Technologie ist herausfordernd und lässt sich nur unter Einsatz neuer Materialien erreichen.

Steigerung der Energiedichte durch neue Silizium-Anoden

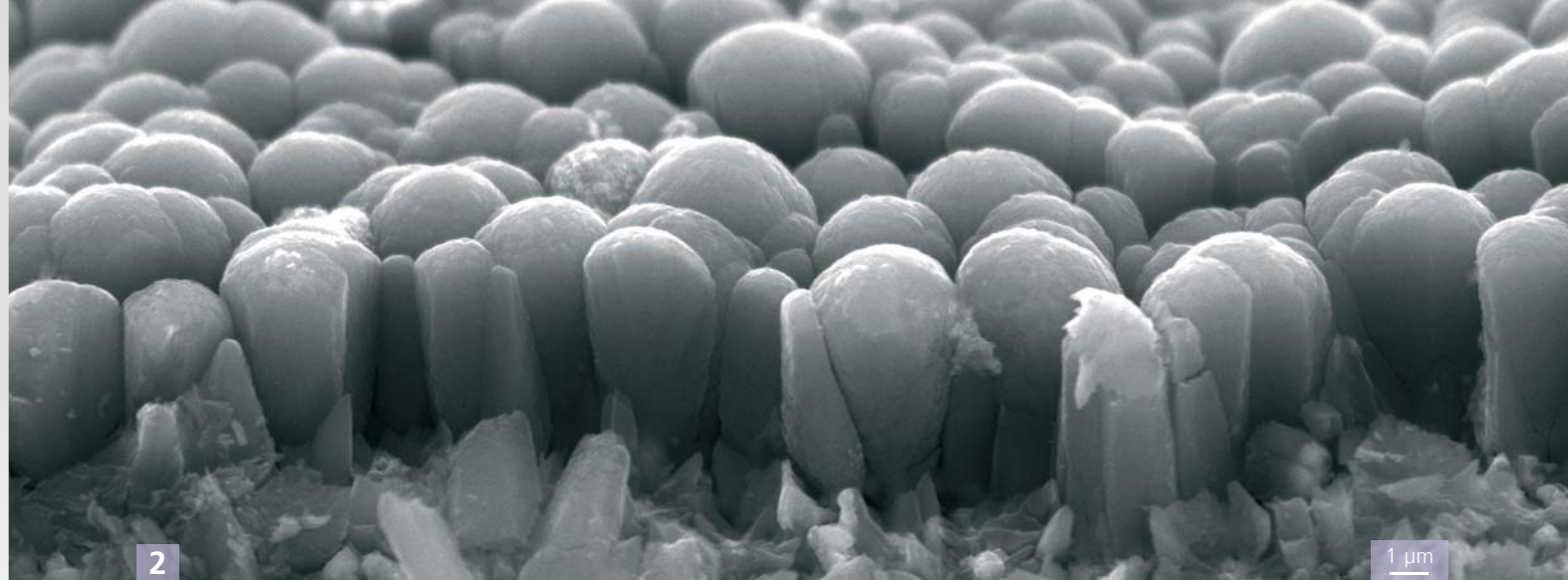
Die Substitution herkömmlicher Graphit-Anoden durch Silizium-Anoden ist einer der vielversprechendsten Ansätze zur Erhöhung der Energiedichte. Beim Ladevorgang werden Lithium-Ionen im Silizium mit bis zu zehnfach höherer Kapazität als in herkömmlichen Graphitanoden gespeichert. Es bilden sich dabei Silizium-Lithium-Legierungen, die bis zu 300 Prozent mehr Volumen einnehmen als die Ausgangsmaterialien. Die große Herausforderung besteht im Materialdesign, das diese Volumenänderung bestmöglich und ohne signifikante Degradation kompensieren kann. Gleichzeitig ist ein kompaktes Elektrodendesign erforderlich, um eine maximale Energiedichte zu erreichen. Untersuchungen an Silizium-Nanodrähten, Silizium-Kohlenstoff-Nanokompositen und mikrostrukturierten Silizium-Schichten werden in BamoSa vergleichend gegen-

übergestellt. Dafür erzeugen die Wissenschaftler Materialien mit definierter Struktur und setzen sie als Anode in Lithium-Ionen-Zellen ein. Mittels verschiedener Testverfahren stellen sie die elektrochemischen den strukturellen Materialeigenschaften gegenüber. Es ergibt sich ein klarer Trend: Die Nanomaterialien (Nanodrähte und Komposite) können die Volumenänderung besonders gut kompensieren und lassen sich bereits bis zu 200-fach laden und entladen. Um aber in minimalem Volumina die maximale Energie zu speichern, zeichnen sich die mikrostrukturierten Siliziumschichten besonders aus. Durch chemische Gasphasenabscheidung (CVD) lassen sich diese keulenartigen Strukturen direkt auf Kupferfolien abscheiden. Siliziumschichten mit nur 10 Mikrometern Dicke können dieselbe Menge an Lithium-Ionen aufnehmen, die heute 60 Mikrometer dicke Graphitanoden speichern. Mit diesem Ansatz lassen sich somit deutliche Steigerungen der volumetrischen Energiedichte erreichen.

Aufbau der Pouchzellen



Aufbau der IWS-Pouchzellen in Stufen: Die Zellen werden durch Stapeln der Einzellagen aus Elektroden und Separatoren assembliert. Das ermöglicht industriennahe Materialtests für verschiedenste Zellsysteme.



2

1 μm

Flexible Prozesskette erlaubt anwendungsnahe Bewertung neuer Materialien in Prototypzellen

Diese und weitere Materialkonzepte demonstriert das Projekt BamoSa. Die Forscher des IWS-Batteriezentrum setzen dazu eine etablierte Prozesskette zur Batteriezellfertigung ein und bewerten die neuen Zellkomponenten in industrienahen Prototypzellen. Die Prozesskette umfasst:

1. Elektrodenherstellung

Neben einer Rolle-zu-Rolle-Anlage zur Pastenbeschichtung werden auch neue Verfahren wie CVD und PVD für Siliziumabscheidung oder Schmelzverfahren für Lithiumschichten entwickelt und eingesetzt.

2. Laserstrahlschneiden

Eine automatisierte Anlage zur Vereinzelung von Elektroden mittels Laserstrahlschneiden wird unter kontrollierter Trockenluftatmosphäre eingesetzt. Das System lässt sich flexibel auf verschiedene Materialien und Zellformate anpassen.

3. Zell-Assemblierung

Elektroden und Separatoren werden zu Zellstapeln zusammengeführt, kontaktiert und mit Elektrolyt befüllt. Für die Aufskalierung steht eine vollautomatisierte Stapelanlage zur Verfügung.

4. Formieren und Testen

Über 300 Test- und Formierkanäle stehen für umfangreiche Batterietests zur Verfügung.

Erste Prototypzellen auf Basis der neuen Silizium-Anoden und herkömmlicher Kathodenmaterialien erreichen bereits Energiedichten größer als 600 Wattstunden pro Liter und sind damit auf Augenhöhe mit den besten Lithium-Ionen-Zellen auf dem Markt. Dieser ermutigende Funktionsnachweis bedeutet jedoch nur den ersten Schritt. In weiteren Stufen soll das Potenzial der Silizium-Anoden zur weiteren Energiedichte-Steigerung von Batteriezellen weiter ausgeschöpft werden. Das erfordert eine spezifische Anpassung aller Zellkomponenten und die Festlegung geeigneter Betriebsbedingungen. Der Ausbalancierung

von Anoden- und Kathodenkapazität und der Auswahl von Elektrolyten kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Das Fraunhofer IWS greift dabei auf eine langjährige Erfahrung zum Zelldesign von Lithium-Schwefel-Zellen zurück. Diese erreichen bereits heute 40 Prozent höhere Energiedichten (bezogen auf das Zellgewicht) als die besten Lithium-Ionen-Zellen. Dank des entstandenen breiten Partner- und Kundennetzwerks hat sich das Batteriezentrum am IWS etabliert und bietet ein breites FuE-Portfolio mit den folgenden Schwerpunkten:

- anwendungsnahe Materialevaluierung in Pouchzellen,
- ganzheitliche Entwicklung von Prototypzellen (u. a. Lithium-Ionen-, Lithium-Schwefel-, Natrium-Schwefel- und Festkörperbatteriezellen),
- Entwicklung neuer Prozesse zur Elektrodenfertigung und Transfer in die Anwendung.

1 *Laserstrahl-geschnittene Anoden für verschiedene Batteriezellformate. Der automatisierte Prozess erlaubt eine flexible Anpassung an verschiedene Zellformate. So lassen sich Anoden kundenspezifisch konfektionieren.*

2 *Am IWS werden mittels CVD- und PVD-Verfahren Silizium-Schichten mit definierter Struktur abgeschieden. Über die gezielte Einstellung von Struktur und Dicke der Schichten lassen sich die Eigenschaften der Anoden in der Batterieanwendung steuern.*

KONTAKT

Dr. Holger Althues

Chemische Oberflächen- und Batterietechnik

☎ +49 351 83391-3476

✉ holger.althues@iws.fraunhofer.de



AUS »SCHWARZ« MACH »BUNT« PER LASERLICHT

Die Beleuchtung mit einem Laser eröffnet der hyperspektralen Bildgebung vielfältige neue Anwendungen in der Qualitätskontrolle und der optischen Inspektionstechnologie. Mit klassischer spektraler Bildgebung nur schwer zugängliche Proben können mit dieser neuen Technologie analysiert werden.

Die hyperspektrale Bildgebung ist ein schnell wachsendes Themenfeld der optischen Inspektionstechnologie, insbesondere der kontinuierlichen 100-Prozent-Prüfung. Durch die gleichzeitig spektral und lateral aufgelöste Messung der vom Untersuchungsobjekt reflektierten Strahlung können detaillierte Informationen über die Chemie und Morphologie der Probe erhalten werden. Daraus lassen sich anschließend durch eine automatisierte Auswertung beispielsweise Qualitätsparameter der Proben ableiten oder Defektbereiche einfach lokalisieren. Typische Hyperspektralkameras arbeiten im sichtbaren oder nahinfraroten Wellenlängenspektrum mit Halogenlampen als Beleuchtungsquelle. Eine Alternative dazu bietet die am Fraunhofer IWS entwickelte hyperspektrale Bildgebung in Kombination mit einem Laser als Beleuchtungsquelle. Dadurch ist es möglich, neue Anwendungen für die hyperspektrale Bildgebung zu erschließen, die bislang nicht zugänglich waren.

Klassifizierung schwarzer Kunststoffe und mehr

Eine der möglichen Anwendungen stellt die Klassifizierung technischer schwarzer Kunststoffabfälle dar. Besonders in der Automobil- und Elektronikindustrie fallen große Mengen dieser Reststoffe an. Aus ökologischer und ökonomischer Sicht ist eine Wiederverwertung dieser Abfälle jenseits der thermischen Verwertung wünschenswert. Dafür ist eine sortenreine Auftrennung der Kunststoffe erforderlich, die mit derzeitigen Methoden nicht erreicht wird. Eine hyperspektrale Kamera kann per Laseranregung verschiedene Kunststoffe erkennen und somit klassifizieren. Dadurch ist ein schnelles und ökonomisches

Klassifizierung schwarzer Kunststoffproben



Foto der Probe (oben), Ausschnitt der hyperspektralen Messung bei 650 nm (Mitte) und Klassifizierung (PA6, PA66 und TPU, unten).

Recycling möglich. Neben dem Einsatz beim Recycling bietet die Technologie weitere interessante Anwendungsmöglichkeiten in der Pharmazie, der Lebensmittelkontrolle oder der Materialprüfung.

KONTAKT

M. Sc. Florian Gruber

Optische Inspektionstechnik

☎ +49 351 83391-3721

✉ florian.gruber@iws.fraunhofer.de





1

SAUBERE LUFT AM ARBEITSPLATZ

Überall dort, wo Werkstoffe unter hohen Temperaturen bearbeitet werden, besteht die Gefahr der unsichtbaren Schadstoffemission in die Arbeitsumgebung. Um saubere Luft und damit den höchstmöglichen Schutz am Arbeitsplatz zu jeder Zeit zu gewährleisten, müssen potenzielle Gefahren verlässlich identifiziert und effizient eliminiert werden.

In vielen industriellen Bearbeitungsprozessen, bei denen Werkstoffe geschweißt, geschnitten oder abgetragen werden, entstehen nanoskalige Stäube und toxische Dämpfe. Diese verteilen sich in der Arbeitsumgebung und können dort eingeatmet werden oder die Haut durchdringen. Damit ergeben sich erhebliche Gesundheitsrisiken. In Abhängigkeit vom Prozess und vom zu bearbeitenden Material fällt eine breite Palette gesundheitsschädlicher Gase und ultrafeiner Partikel an. Das Fraunhofer IWS identifiziert potenzielle Gefahren mit modernster Messtechnik, evaluiert Filtersysteme und bietet damit eine kompetente Lösung für einen sauberen Arbeitsplatz.

Verarbeiten einer PVC-Folie



Schwimmbäder werden mit Folienbahnen ausgekleidet, die für eine zuverlässige Wasserdichtigkeit miteinander verschweißt werden. Das Fraunhofer IWS zeigt dank modernster Messtechnik, dass das Folienmaterial von Elbtal Plastics bei der thermischen Behandlung ein Minimum an Schadstoffen freisetzt.

Effizienter Arbeitsschutz durch individuelle Prozessbewertung und Sicherheitsmaßnahmen

Die Auswahl des zu verarbeitenden Materials und der Prozessbedingungen tragen essenziell zur Schadstoffreduzierung bei. Dies zeigte die Kooperation mit Elbtal Plastics am Beispiel des thermischen Schweißprozesses von PVC-Folien. Eine niedrigere Behandlungstemperatur sowie die Auswahl eines optimierten Folienmaterials reduzieren den Ausstoß gesundheitsschädlicher Substanzen auf ein Minimum. Bei einer unvermeidlichen Freisetzung von Schadstoffen, zum Beispiel bei der Laserbearbeitung bestimmter Werkstoffe, müssen individuelle Schutzmaßnahmen getroffen werden. Die langjährige Erfahrung in der Evaluierung kommerzieller und moderner Materialien am Fraunhofer IWS bildet die Grundlage für die Entwicklung innovativer spezifischer Filtersysteme. Ein wichtiger Beitrag zur Reinhaltung der Luft am Arbeitsplatz.

1 *Beim Schweißen von Werkstoffen können gesundheitsgefährdende Schadstoffe in die Arbeitsumgebung gelangen, die geeignete Schutzmaßnahmen notwendig machen.*

KONTAKT

M. Sc. Michelle Wöllner
 Gas- und Partikelfiltration
 ☎ +49 351 83391-3421
 ✉ michelle.woellner@iws.fraunhofer.de



THERMISCHE OBERFLÄCHENTECHNIK



Geschäftsfeldleiterin **Dr. Denise Beitelschmidt**

DAS GESCHÄFTSFELD

Die Thermische Oberflächentechnik hat die gesamte Wertschöpfungskette der Systemtechnik- und Prozessentwicklung rund um Beschichtungsaufbau und Wärmebehandlung im Blick. Energie- und Ressourceneffizienz tragen dabei den Anforderungen hinsichtlich Ökonomie und Ökologie der Prozesse Rechnung. Wenn es darum geht, Verfahren mit hohen Komplexitätsgraden effizient zu gestalten, diese in innovative Prozesse zu überführen und mit dem Zielprodukt in Einklang zu bringen, dann punktet das Geschäftsfeld mit seiner Erfahrung in Forschung und Praxis. Das Angebotsspektrum umfasst die Prozess- und Systemtechnikentwicklung für lasergestützte Beschichtungs- und Aufbauverfahren, das thermische Spritzen sowie die Wärmebehandlung mit besonderem Fokus auf hochpräzise Randschichthärteverfahren. Unter dem Schlagwort Industrie 4.0 arbeitet das Fraunhofer IWS beständig daran, immer höhere Automatisierungsgrade zu erzielen. Das übergeordnete Ziel: Prozesssicherheit einer effizienten, zuverlässigen Technologie zu gewährleisten, um kostspielige Stillstandzeiten zu verhindern und konkurrenzfähige sowie hochwertige Endprodukte zu ermöglichen.

**Abteilungsleiter
Thermisches Beschichten**



Prof. Dr. Steffen Nowotny

☎ +49 351 83391-3241

✉ steffen.nowotny@iws.fraunhofer.de

**Gruppenleiter
Auftragschweißen / Systemtechnik**



Dipl.-Ing. (FH) Holger Hillig

☎ +49 351 83391-3358

✉ holger.hillig@iws.fraunhofer.de

**Gruppenleiter
Laser-Draht-Beschichtungstechnik**



Prof. Dr. Steffen Nowotny (komm.)

☎ +49 351 83391-3241

✉ steffen.nowotny@iws.fraunhofer.de

**Gruppenleiterin
Thermisches Spritzen**



Dr. Maria Barbosa

☎ +49 351 83391-3429

✉ maria.barbosa@iws.fraunhofer.de

**Abteilungsleiter
Wärmebehandeln und Plattieren**



Dipl.-Phys. Marko Seifert

☎ +49 351 83391-3204

✉ marko.seifert@iws.fraunhofer.de

**Gruppenleiter
Wärmebehandlungssysteme**



Dipl.-Phys. Marko Seifert (komm.)

☎ +49 351 83391-3204

✉ marko.seifert@iws.fraunhofer.de

**Gruppenleiter
Mechanisch-Thermische Verfahren**



Dipl.-Phys. Marko Seifert (komm.)

☎ +49 351 83391-3204

✉ marko.seifert@iws.fraunhofer.de

LASERUNTERSTÜTZTES THERMISCHES SPRITZEN IN EINEM SCHRITT

Maßnahmen gegen Anisotropie und geringe Homogenität der Mikrostruktur gehören zu den Herausforderungen bei klassisch gespritzten Schichten. Mit Unterstützung einer Laserquelle im Beschichtungsprozess entwickelte das Fraunhofer IWS eine »One-step-Solution«, um homogene Hochleistungsmetallschichten direkt aufzutragen.

Kupferbasierte Schichten bilden eine Werkstoffklasse mit besonderen Anwendungspotenzialen, zum Beispiel in der Elektrotechnik oder dem Automobilbau. Dies beruht vorwiegend auf ihrer exzellenten elektrischen Leitfähigkeit. Beispiele mit Relevanz stellen Leiterbahnen aller Dimensionen aus reinem Kupfer, Elektroden aus dem System Wolfram-Kupfer dar, Formwerkzeuge und Ausrüstungen der Schweißtechnik aus AMPCO-Kupfer sowie Gleitlager aus Kupfer-Zinn und Kupfer-Zink. Ebenso werden aktuell noch ökologisch kritische Legierungen wie Beryllium-Kupfer verarbeitet, für die dringender Substitutionsbedarf besteht. Eine der Herausforderungen, die beim thermischen Spritzen elektrisch leitfähiger Materialien auftritt, stellt die Oxidation des Spritzzusatzes während des Prozesses dar. Sie erhöht den elektrischen Widerstand der Beschichtung. Darüber hinaus führt die typische anisotrope Struktur zu unterschiedlichen elektrischen Eigenschaften längs und quer zur Schicht.

Niedriger Druck für hohe Wirtschaftlichkeit

Eine attraktive Lösung bietet das neue Niederdruck-Kaltgas-spritzen (NDKGS), bei dem das Pulver in divergierende Abschnitte der Düse mit niedrigem Gasdruck (ca. 6 bar) injiziert wird. NDKGS-Systeme sind in der Regel kompakt und mobil einsetzbar, außerdem betragen die Kosten nur etwa zehn Prozent einer Investition für ein Hochdruck-Kaltgasspritz-System. Aufgrund der erreichbaren Partikelgeschwindigkeiten besteht jedoch die Gefahr von Haftungsdefekten zum Substrat. Um die Schichtadhäsion zu verbessern, kommen aktuell nur spezielle

Mischpulver mit Anteilen artfremder Keramiktteilchen zum Einsatz. Dabei beeinflussen jedoch die eingeschlossenen Hartpartikel die Schichtmikrostruktur negativ, sie stellen Schichtfehler dar und tragen zu Inhomogenitäten bei. Das schränkt das Anwendungsspektrum für NDKGS als Beschichtungslösung ein.

Universelle Systemtechnik mit Laserstrahlenergie

Sowohl dem Problem der anisotropen Struktur als auch dem der Bindungsdefekte lässt sich mit einer prozesssimultanen, dosierten Wärmeeinwirkung begegnen. Das Fraunhofer IWS entwickelte hierzu einen neuartigen Laser-Hybrid-Spritzkopf, der sich nicht nur in NDKGS-, sondern auch in herkömmliche Spritzsysteme integrieren lässt. Laserstrahlung ist aufgrund ihrer gezielt selektiven Einwirkung, der präzisen Steuerbarkeit und des geringen Gesamtwärmeeintrags eine vorteilhafte Energiequelle zur hybriden Kopplung mit thermischen Spritzprozessen. Die Energie des Laserstrahls lässt sich somit gezielt für die Substratvorbehandlung, die Prozessunterstützung sowie auch für die Schichtnachbehandlung nutzen. Die Lösung für die Herausforderungen von Anisotropie und Haftfestigkeit liegt in den vorteilhaften metallurgischen Effekten, die zielgerichtet genutzt werden, nachdem sich das Spritzgefüge während der laserinduzierten, prozesssimultanen Wärmebehandlung im laufenden Prozess formiert hat. Eine besondere Herausforderung für die lasergestützte Herstellung von Kupferschichten liegt in der geringen Absorption der Laserstrahlung kommerzieller Hochleistungslaser bei Wellenlängen zwischen 860 und 1024 Nanometern. Trotz Mehrfachreflexion durch Teilchen im Spritz-

Einwirkung des Lasers auf der Schichtaufbau



Schichtvergleich eines kommerziellen Kupferpulvers mit Aluminiumoxidpartikeln, hergestellt ohne (oben) und mit (unten) Laserunterstützung. Vorlaufend zum Spritzpartikelstrahl verbessert der Laserstrahl die Anbindung an das Substrat.

Hybridkupferschicht ohne Aluminiumoxidpartikel



Überlappend und nachlaufend zum Spritzstrahl geführt ermöglicht der Laser die poren- und rissfreie Herstellung reiner Kupferschichten.

strahl ist der Energieeintrag in die Spritzpulver gering. Hier versprechen neue Strahlquellen mit blauem und grünem Laserlicht bislang unerforschte Potenziale.

Vorteilhafte Bindung ohne beigemischtes Oxid

Unter Nutzung des neuen Hybrid-Spritzkopfs wiesen die Wissenschaftler des IWS die erreichbaren metallurgischen Effekte experimentell nach. Schon beim herkömmlichen aluminiumoxidhaltigen Spritzpulver führt die simultane Laserun-

terstützung zu einem verringerten Poren- und Defektanteil im erstarrten Spritzgefüge. Infolge der Lasereinwirkung wird eine Oxidbeimischung überflüssig, da dennoch dichte, haftfeste Beschichtungen entstehen. Die Bindemechanismen der Schicht zum Substrat gehen dabei sogar über den ansonsten charakteristischen Typ der rein mechanischen Verklammerung hinaus und weisen vorteilhafte Anteile einer schmelzmetallurgischen Bindung auf. Der einstufig laserunterstützte Spritzprozess ermöglicht somit vielversprechende Beschichtungslösungen mit beträchtlichem Anwendungspotenzial für alle Schichtsysteme, die eine zusätzliche Verbesserung der Haftung sowie zielgerichtete Modifizierung der Schichtmorphologie verlangen.

KONTAKT

Dr. Maria Barbosa

Thermisches Spritzen

☎ +49 351 83391-3429

✉ maria.barbosa@iws.fraunhofer.de



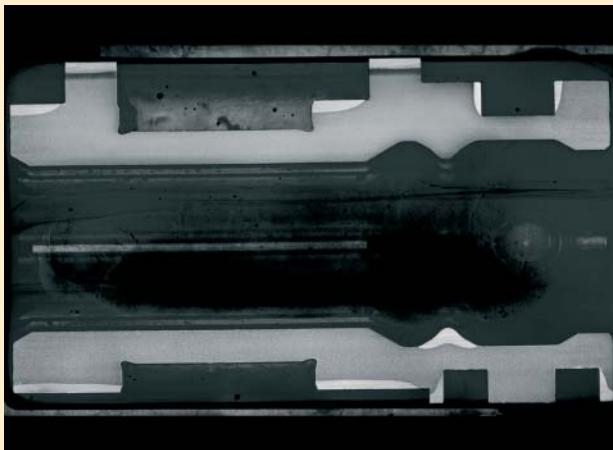
LASERRANDSCHICHTHÄRTEN BRINGT DIE MOTORENFERTIGUNG AUF TOUREN

Die flexible Ventilsteuerung am Kraftfahrzeug ermöglicht effizientere Motorwirkungsgrade bis hin zur Abschaltung kompletter Zylinder. Realisiert wird dies durch Nockenwellen mit feststehenden und axial verschiebbaren Nocken. Hochpräzise Laserrandschichthärtungsverfahren ermöglichen völlig neue Fertigungskonzepte und eine hohe Lebensdauer der Komponenten.

Moderne Nockenwellensysteme vereinen die ursprüngliche Funktionalität des Öffnens und Schließens der Ventile mit dem Anspruch, über Steuer- und Regelungssysteme den Wirkungsgrad des Aggregats immer weiter zu optimieren. Wurden diese früher konventionell geschmiedet oder gegossen, so werden heute die Bestandteile Nockenstücke und Trägerwellen separat gefertigt. Notwendig machte diesen Fertigungswandel ein modernes Designkonzept, das anstelle der festen Zuordnung von Einzelnocke zu Ventil ein komplexes System mit verschiebbaren Nocken für den feineren Regelungseingriff erfordert. Die Optimierung dieses Designs flexibilisiert Motorzyklen und

passt Aggregate bedarfsgerecht an Fahrsituationen an, um zum Beispiel Zylinderabschaltungen zu realisieren. Traditionelle Härteverfahren zur Sicherstellung lokaler Verschleißbeständigkeit und hoher Bauteillebensdauer sind für moderne Fertigungskonzepte nur noch bedingt geeignet. Auch hinsichtlich Energiebedarf und diskontinuierlicher Prozesse sind Laser die idealen Werkzeuge für die Wärmebehandlung. Um einen effizienten Fertigungsfluss umzusetzen, bedarf es eines mehrstufigen Härteverfahrens, das in hoher Taktfolge eine präzise Härtung nur an denjenigen Positionen vollzieht, an denen das komplexe Design es erfordert. Die Strukturen wie Nocken, Schatlnuten sowie Rastzähne zur Fixierung der Teile auf der Trägerwelle werden in der jeweils notwendigen geometrischen Begrenzung der Laserwärmebehandlung unterzogen.

Schliffbild eines lasergehärteten Nockenstücks



Metallographischer Schliff eines lasergehärteten Nockenstücks: Die IWS-Entwicklungen zielen darauf ab, ausschließlich die verschleißbeanspruchten Stellen zu härten, um die benötigte Verschleißbeständigkeit und Lebensdauer zu erreichen.

Zylinderabschalten unter Teillast mit neuer Fertigungsstrategie

Für ein neues Motorenkonzept eines deutschen Automobilherstellers entwickelte das Fraunhofer IWS Dresden einen Prozess für das Laserstrahlhärten von Nockenstücken. Das Motorenkonzept ermöglicht es, unter Teillast zwei von vier Zylindern abzuschalten. Dadurch lassen sich erhebliche Kraftstoff- und Kohlendioxid-Einsparungen erreichen. Die Entwicklungen des Fraunhofer IWS zielten darauf ab, das geometrisch komplexe Nockenstück hochpräzise und nur an den stark beanspruchten Konturen zu härten. Der erforderliche hohe Verschleißschutz wird somit sichergestellt. Zudem sorgt die neuartige Kombina-



tion aus lokaler Laserhärtung und durchdachten mechanischen Zwischenfertigungsschritten für eine extrem hohe Passgenauigkeit. So reduzieren sich die Betriebslasten deutlich. Die IWS-Forscher entwickelten dafür einen mehrstufigen Härteprozess: In einem ersten Schritt werden die Nockenlaufbahnen gehärtet. Im Anschluss erfolgt die Laserbearbeitung der verschleißkritischen Anteile an den Schaltnuten, die bei der Zylinderschaltung belastet werden. Nach mechanischer Bearbeitung der Innenverzahnung wird erst im letzten Wärmebehandlungsschritt der Rastzahn gehärtet, anschließend das Bauteil gefinisht. Das IWS setzt als Werkzeuge Hochleistungsdiodelaser ein, die sich generell für das Laserhärten hinsichtlich des Preis-Leistungs-Verhältnisses, der Strahlqualität und der Vielfalt der verfügbaren Optiken als effiziente Werkzeuge erweisen. Um die Nockenkonturen beanspruchungsgerecht und mit einer möglichst kurzen Taktzeit zu härten, verwendeten die Wissenschaftler das am Fraunhofer IWS entwickelte dynamische Strahlformungssystem »LASSY«.

Laserstrahlhärten vollautomatisch und reproduzierbar

In den Prozessen kommen simultan arbeitende Hochleistungsdiodelaser zum Einsatz. Da das Härten eine präzise Temperaturführung erfordert, kombinierten die Wissenschaftler eine »E-MAqS«-Wärmebildkamera mit der Temperaturregelung »LompocPro«. Letztere stellt die Härtetemperaturen trotz der drastischen Geometrieänderungen im Prozessverlauf vollautomatisch und reproduzierbar ein und überwacht diese an jeder Position. Sie sorgt gleichzeitig dafür, dass sich die Bauteileinzelprozesse zurückverfolgen lassen. Die im System generierten Prozessdaten werden verwendet, um die Bauteile zu indizieren und deren Qualität zu überwachen. Fehlerhafte Bauteile werden automatisch aus der Anlage geschleust.

Alles in Linie

Im Gegensatz zu bislang üblichen Batchprozessen werden die Nockenstücke nun in Linie gefertigt. Auf diese Weise wird weniger Energie in das Bauteil eingeführt als bei konventionellen Härteverfahren. Das Aufgabenspektrum des Fraunhofer IWS umfasste Werkstoffauswahl, Technologieentwicklung und Prototypenfertigung. Aufbauend auf den Ergebnissen wurden die Serienfertigungsanlagen gemeinsam mit den Anlagenherstellern konzipiert sowie im Fraunhofer IWS entwickelte Systemkomponenten angepasst und integriert. Vor Ort optimierten die Wissenschaftler in der Fertigung die Serienprozesse weiter und begleiteten den Serienanlauf. Dabei passten sie die prozessrelevanten Parameter, wie z. B. Laserstrahlprofil, Härtetemperatur, Bahngeschwindigkeit und Laserposition an der Serienanlage an. Während der Entwicklung war das Forscherteam auch an der Materialauswahl beteiligt und unterstützte den Automobilhersteller bei der Konstruktion, um die Bauteile sowie die Fertigungsfolgen optimal für das Laserstrahlhärten anzupassen.

- 1 Für ein modernes Motorenkonzept entwickelte das Fraunhofer IWS einen Prozess für das Laserstrahlhärten von Nockenstücken. Dieses ermöglicht die effiziente Fertigung der Bauteile mit einer neuen Fertigungsstrategie.

KONTAKT

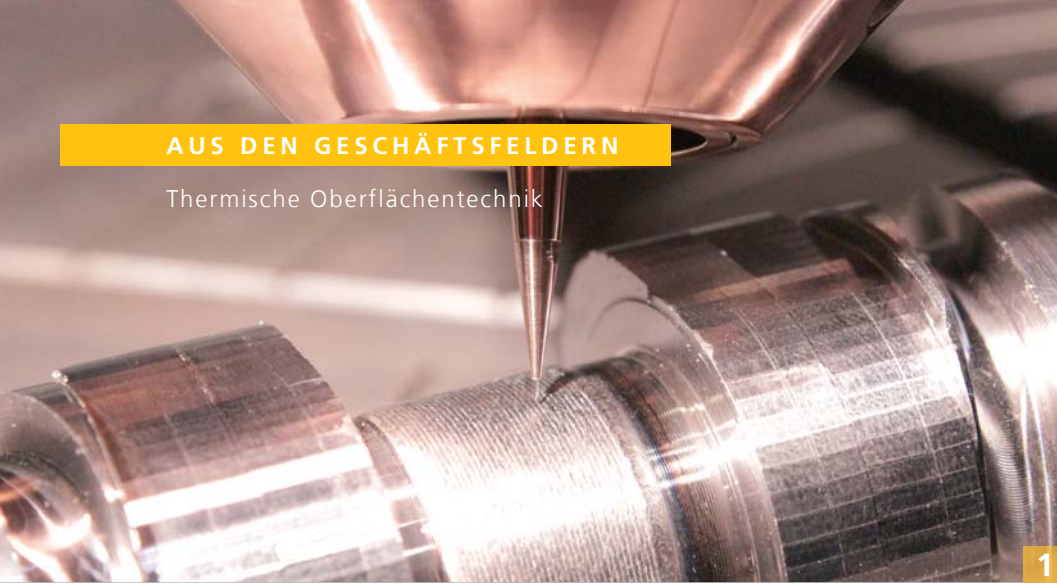
Dipl. -Phys. Marko Seifert

Wärmebehandeln und Plattieren

☎ +49 351 83391-3204

✉ marko.seifert@iws.fraunhofer.de





1

2

ZUKUNFTSWEISEND: LASER-FEINDRAHT-AUFTRAGSCHWEISSEN IN NEUEN DIMENSIONEN

Um die volle Bandbreite der Schweißdraht-Durchmesser beim Laser-Draht-Auftragschweißen (LDA) zu nutzen, hat das Fraunhofer IWS die mit integrierten Sensoren ausgestattete Laser-Feindraht-Bearbeitungsoptik »COAXwire mini« neu entwickelt und patentiert. Koaxial, miniaturisiert, modular und robust aufgebaut, eignet sie sich optimal für das Auftragschweißen, Reparieren und 3D-Generieren.

Die Anforderungen und Zielstellungen der industriellen Anwender des Laser-Auftragschweißens werden zunehmend anspruchsvoller und komplexer. Drähte spielen dabei eine immer zentralere Rolle unter den Schweißzusätzen. Vor diesem Hintergrund entwickelte das Fraunhofer IWS auf Basis langjähriger praktischer Erfahrungen mit dem etablierten COAXwire-System sowie dem methodischen Konstruieren die Laser-Feindraht-Bearbeitungsoptik »COAXwire mini«. Das bewährte koaxiale 3-Strahl-Optiksystem wurde grundsätzlich beibehalten, sodass richtungsunabhängig in nahezu allen technisch sinnvollen Schweißpositionen gearbeitet werden kann. Mit der Bearbeitungsoptik lassen sich Feindrähte von 0,1 bis 0,6 Millimetern mit flexibel austauschbaren Antriebseinheiten typischer Feindrahtförderer der neuesten Generation verarbeiten. Das Design der eigens entwickelten Optikkomponenten erlaubt es, Faser-, Scheiben-, Dioden- und darüber hinaus sogar Laser im blauen und grünen Wellenlängenspektrum zu verwenden. Mithin können nunmehr alle für den direkten Metallauftrag verfügbaren Laserquellen mit Wellenlängen von 450 bis 550 sowie von 890 bis 1100 Nanometern verwendet werden. Je nach Absorptionsverhalten der als Schweißgut oder Substrat verwendeten Metalllegierung ist somit die materialspezifisch günstigste Laserwellenlänge einsetzbar. Somit lässt sich ein breites Spektrum an Materialien, die zum Beispiel in den Branchen Luftfahrt, Medizintechnik und im Werkzeugbau Verwendung finden, wellenlängen-selektiv energieeffizient verarbeiten. Bei einem festen Abbildungsverhältnis von 1:2 erfolgt über die Wahl des Faserdurchmessers die Einstellung des auf den Zu-

satzdraht abgestimmten Fokusedurchmessers. Eine integrierte Miniatur-Kamera beobachtet Prozesse, Querstromdüsen lenken störende Spritzer ab und die zentrische Drahtzufuhr kann in XYZ-Richtung feinjustiert werden. Ein weiteres Highlight der COAXwire mini bildet, neben einem geringeren Gewicht und kleineren Bauraum im Vergleich zur COAXwire, das wassergekühlte, umweltfreundliche Rauchgas-Absaugmodul, das giftige Metalldämpfe während des laufenden Schweißprozesses filtert und richtungsunabhängig absaugt. Die in der Bearbeitungsoptik integrierten Sensoren überwachen Schutzgläser, Kühlwasserdurchflüsse sowie Temperaturen.

- 1 Eine Hohlwellen-Beschichtung, die mit Feindrähten (Material: X45CrSi9-3) laserdraht-auftragsgeschweißt und korrosionsbeständig hergestellt wurde.
- 2 Die mit Sensoren ausgestattete Laser-Feindraht-Bearbeitungsoptik »COAXwire mini« wurde neu entwickelt und patentiert.

KONTAKT

Dipl.-Ing. (FH) Frank Kubisch
Auftragschweißen/Systemtechnik

☎ +49 351 83391-3147

✉ frank.kubisch@iws.fraunhofer.de

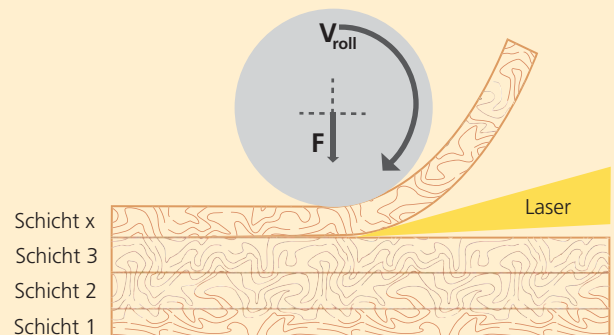


EFFIZIENTES FLÄCHIGES FÜGEN VON OFFENPORIGEN METALLSCHÄUMEN

Pellets aus offenporigen Metallschäumen werden in großen Mengen als Katalysatoren in Chemieanlagen verwendet. Fertigungsbedingt lassen sich diese nur als dünne Matten herstellen. In einem weiteren Prozessschritt werden sie flächig miteinander verbunden. Am Fraunhofer IWS wurde ein Verfahren entwickelt, um derartige Schaummatten effektiver und mit geringer Kompression zu verbinden.

Stoffschlüssige Verbindungen sehr geringer Wandstärken entstehen mithilfe brillanter Laserstrahlquellen. Dünne Metallschaummatten, wie sie das Unternehmen Alantum über ein patentiertes pulvermetallurgisches Verfahren herstellt, müssen für die industrielle Anwendung flächig miteinander verbunden werden. Die Stege der Schäume sind dabei wenige Mikrometer dick. Ein am Fraunhofer IWS entwickelter Fügemechanismus verbindet diese Schäume flächig miteinander. Wird beim Zuführen der Schaumlagen bewusst ein Spalt erzeugt, kann die hohe Intensität des Lasers die Innenflächen in kurzer Zeit erwärmen und partiell schmelzen. Beim Zusammendrücken der Schaummatten gehen die gegenüberliegenden Schmelztropfen eine Verbindung ein. Um den Wärmeeintrag gering zu halten, führen die Wissenschaftler den Prozess bei einer kontinuierlichen Vorschubgeschwindigkeit von zwei bis drei Metern pro Minute durch. Die Breite der Fügezone steuern sie über einen dynamischen Scanner mit großen Auslenkungen von bis zu 200 Millimetern. Der Metallschaum verformt sich beim Andrücken kaum und wird daher auch wenig komprimiert, die Porosität bleibt erhalten. Die Verbindungen in der Fügezone haben keinen negativen Einfluss auf die Porosität des Materials. Das flächige Verschweißen von Metallschäumen über einen geöffneten Spalt stellt ein überaus effektives Verfahren zum Verbinden mehrerer Metallschaummatten dar. Als positiver Nebeneffekt verringern sich die Kompressionsverluste im Vergleich zum herkömmlichen Fügeverfahren deutlich.

Schematischer Versuchsaufbau zum flächigen Verbinden mehrerer Metallschaumlagen



Die flächige Verbindung der Metallschaumlage entsteht in der Kombination aus dem Verschweißen per Laserstrahl und einer kontinuierlichen Andruckkraft F mit der Drehgeschwindigkeit V_{roll} . Die Porosität des Schaumes und damit eine effektive Funktionalität bleiben mit dem am IWS entwickelten Verfahren erhalten.

KONTAKT

Dipl.-Ing. Andrea Berger

Mechanisch-Thermische Verfahren

☎ +49 351 83391-3097

✉ andrea.berger@iws.fraunhofer.de



GENERIEREN UND DRUCKEN



Geschäftsfeldleiter **Prof. Dr. Frank Brückner**

DAS GESCHÄFTSFELD

Lage für Lage formt das Geschäftsfeld Generieren und Drucken Werkstoffe für verschiedenste Anwendungszwecke. Aus Ausgangswerkstoffen wie Pulver, Draht, Pasten oder Bändern entstehen komplette Bauteile. Hauptsächlich werden Metalle und Kunststoffe verarbeitet. Ein besonderes Merkmal bildet die ausgeprägte Verfahrens-, Systemtechnik- und Werkstoffkompetenz. Nur in dieser Kombination lassen sich komplexe neuartige Bauteile mittels additiver Fertigung herstellen, die einerseits kostengünstig und andererseits zuverlässig sind. Zum Einsatz kommen vielfältige Verfahren wie das Laserauftragschweißen mit Pulver und Draht, selektives Elektronen- und Laserstrahlschmelzen oder Hybridlösungen, die subtraktive mit additiven Methoden kombinieren. Dabei konzentrieren sich die Wissenschaftler am Fraunhofer IWS nicht ausschließlich auf den einzelnen Prozess, sondern erforschen und erarbeiten Lösungen entlang der gesamten Prozesskette. Gemeinsam mit dem Industriepartner beschreiten sie den gemeinsamen Weg von der Idee über die Machbarkeitsstudie und die Entwicklung der Systemtechnik bis hin zur kompletten Marktreife.

**Abteilungsleiterin
Additive Fertigung**



Dr. Elena López

☎ +49 351 83391-3296

✉ elena.lopez@iws.fraunhofer.de

**Gruppenleiter
3D-Generieren**



Dipl.-Ing. Mirko Riede

☎ +49 351 83391-3188

✉ mirko.riede@iws.fraunhofer.de

**Gruppenleiter
Hybridverfahren**



Dipl.-Ing. André Seidel

☎ +49 351 83391-3854

✉ andre.seidel@iws.fraunhofer.de

**Gruppenleiter
Drucken**



M. Sc. Lukas Stepien

☎ +49 351 83391-3092

✉ lukas.stepien@iws.fraunhofer.de

**Gruppenleiter Bildverarbeitung
und Datenmanagement**



Prof. Dr. Karol Kozak

☎ +49 351 83391-3717

✉ karol.kozak@iws.fraunhofer.de



ADDITIVE MANUFACTURING MEETS SPACE

In enger Zusammenarbeit mit der European Space Agency (ESA) entwickeln Wissenschaftler des Fraunhofer IWS additive Fertigungsverfahren für neuartige Raumfahrtanwendungen, die bis vor Kurzem nicht denkbar waren.

Im Vergleich zur konventionellen Fertigung machen wesentliche Vorteile der additiven Fertigung diese besonders interessant für Anwendungen in der Raumfahrt. Dazu zählen die Möglichkeiten, dass sich zusätzliche Funktionalitäten oder komplexe Strukturen direkt während der Fertigung in ein Bauteil integrieren, das Gewicht durch die Realisierung hochkomplexer Geometrien signifikant reduzieren oder ausgewählte Materialien einfacher verarbeiten lassen. Das Fraunhofer IWS bearbeitet aktuell neun Projekte in der additiven Fertigung für Raumfahrt-Anwendungen im Rahmen verschiedener Programme der European Space Agency (ESA). Einige der in enger Zusammenarbeit mit der ESA entwickelten Anwendungen werden in diesem Beitrag vorgestellt.

Neue Materialien für optische Weltraumkomponenten

Das additive Fertigungsverfahren Laser Powder Bed Fusion (LPBF) ermöglicht das Fertigen hochkomplexer Geometrien und bietet darüber hinaus das Potenzial, neue Materialien zu nutzen, die sich konventionell nur schwierig verarbeiten lassen. Zusammen mit dem deutschen Unternehmen Kampf Telescope Optics fertigt das Fraunhofer IWS hochkomplexe Spiegelträger aus der risskritischen Aluminium-Basis-Legierung AlSi40 (60 Masseprozent Aluminium, 40 Masseprozent Silizium). Diese weist neben hervorragenden Materialeigenschaften zusätzlich eine gute thermophysikalische Kompatibilität mit dem optischen Beschichtungsmaterial Nickel-Phosphor (NiP) auf. Die Ingenieure am Fraunhofer IWS fertigten entlang einer maßgeschneiderten Prozesskette nicht nur rissfreie Volumenkörper. Mittels gezielter Prozessführung und Wärmebehandlung gelang es ihnen zusätzlich, dass deren Festigkeiten diejenigen konventionell

hergestellter Materialien um mehr als 20 Prozent übersteigen. Unter Verwendung der ermittelten Materialdaten führten die Berechnungsingenieure von Kampf Telescope Optics eine optomechanische Topologieoptimierung durch. Gezielt eingesetzte Gitterstrukturen ermöglichen sowohl eine gesteigerte optische Performance als auch eine Masseersparnis von über 30 Prozent.

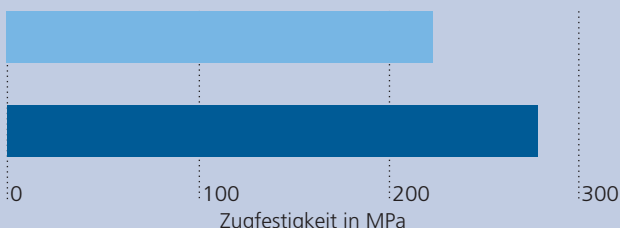
Erhöhte Komplexität für mehr Effizienz

In der Raumfahrt kommen Spulen für vielfältige Anwendungen zum Einsatz. So dienen diese beispielsweise zur Lageregelung von Satelliten oder zur Betätigung von Magnetaktuatoren. Da jede Spule speziell für die jeweilige Anwendung maßgeschneidert hergestellt werden muss, ist die konventionelle Fertigung solcher Spulen sowohl zeit- als auch kostenintensiv. Darüber hinaus können aufgrund der Designrestriktionen der konventionellen Prozesskette nicht alle Potenziale effizienter Spulensysteme ausgeschöpft werden. Forscher des Fraunhofer IWS und ZARM Technik untersuchten gemeinsam den Prozess der Laser Powder Bed Fusion (LPBF) als Fertigungsverfahren hochkomplexer Spulen für Raumfahrtanwendungen. Dabei betrachteten sie sowohl eine Adaption der Scanstrategie, die Entwicklung maßgeschneiderter Stützstrukturen als auch das Verwenden neuer Beschichtungstechnologien im Detail. So waren die Forscher in der Lage, anwendungsspezifisch optimierte Spulen additiv zu fertigen. Die »additiven« Spulen zeichnen sich durch ortsaufgelöste Querschnittsdimensionen von bis zu einem Quadratmillimeter aus, die deren Effizienz maßgeblich steigern sollen. Das nächste Ziel ist es, diese komplexen Spulen auf dem Prüfstand hinsichtlich der erreichbaren Effizienzsteigerung experimentell zu untersuchen.

Additiv gefertigte Rahmenstruktur für Printed Circuit Boards (PCB) mit zusätzlicher Funktionsintegration

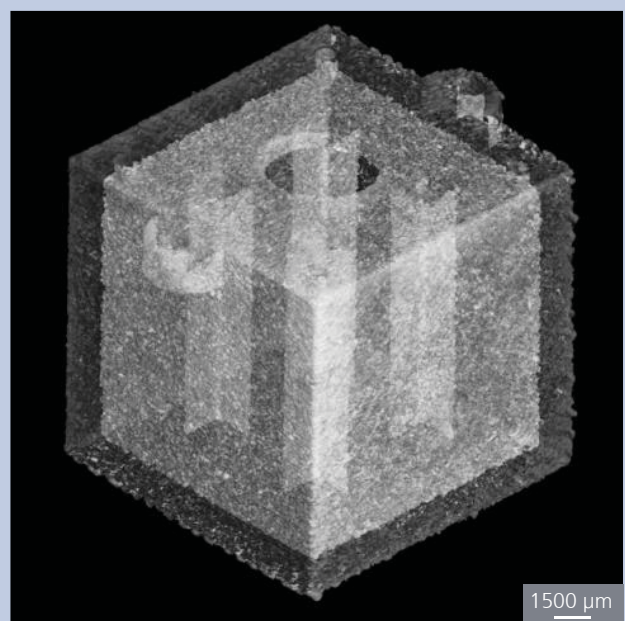
Bereits während der additiven Fertigung lassen sich zusätzliche Funktionalitäten oder komplexe Strukturen in ein Bauteil integrieren. Eine solche Funktionserweiterung wäre mit herkömmlichen Methoden oft nicht oder nur mit großem Aufwand möglich. Die Wissenschaftler des Fraunhofer IWS haben das Laser-Powder-Bed-Fusion-Verfahren (LPBF) genutzt, um in einem additiven Fertigungsansatz Verklammerungsstrukturen für Metall-Polymer-Hybridwerkstoffe herzustellen. Sie fertigten Bauteile mit internen Strukturen und Kammern, indem sie ein Metallpulver im Pulverbett mittels Laser schichtweise aufschmolzen. Da das lose Pulver in diesen Kammern durch den Prozess nicht beeinflusst wird, ließ es sich im Nachgang durch eine Öffnung entfernen. Den verbleibenden Hohlraum mit inneren Strukturen befüllten die Forscher anschließend mittels einer beheizbaren Düse mit verschiedenen Polymerwerkstoffen. Dabei bewirkten die internen Strukturen eine Verklammerung auf der makroskopischen Ebene, während die durch den additiven Fertigungsprozess bedingte inhärente Oberflächenrauheit zu einer effektiven Mikroverklammerung führte. Den Forschern gelang es, eine defektfreie Anbindung zwischen Metall und Polymer zu erzielen. Dies bestätigten sie anhand von Schliiffbildern und computertomographischen Aufnahmen.

Untersuchung der Zugfestigkeit der Aluminium-Basis-Legierung AlSi40 (60 Masseprozent Aluminium, 40 Masseprozent Silizium)



Untersuchung additiv gefertigter Strukturen hinsichtlich der Zugfestigkeit: Im Vergleich zur gemessenen Zugfestigkeit von 280 MPa weisen konventionell gefertigte Strukturen lediglich 225 MPa auf.

CT-Aufnahme eines metallischen Hohlkörpers



Beispiel für einen metallischen Hohlkörper mit inneren Strukturen, gefertigt mittels Laser Powder Bed Fusion (LPBF).

Mögliche Anwendungsfelder reichen von biokompatiblen Werkstoffpaarungen für medizinische Anwendungen bis zu Metall-Polymer-Verbindungen für Raumfahrtanwendungen.

- 1 Mittels additiver Fertigung lassen sich neuartige Spulengeometrien entwickeln und fertigen. Ein Highlight: Das ortsaufgelöste Maßschneidern des Wicklungsquerschnitts verbessert thermische, mechanische und magnetische Eigenschaften der Spulensysteme.

KONTAKT

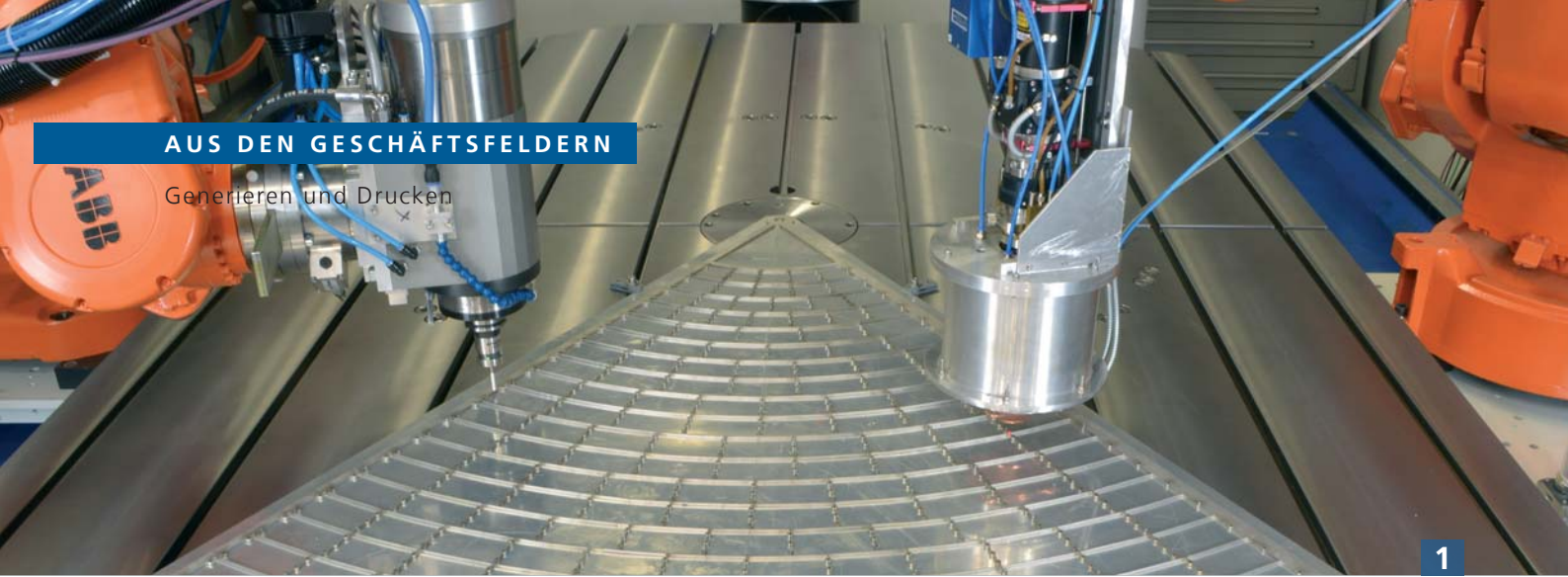
Dr. Elena López

Additive Fertigung

+49 351 83391-3296

elena.lopez@iws.fraunhofer.de





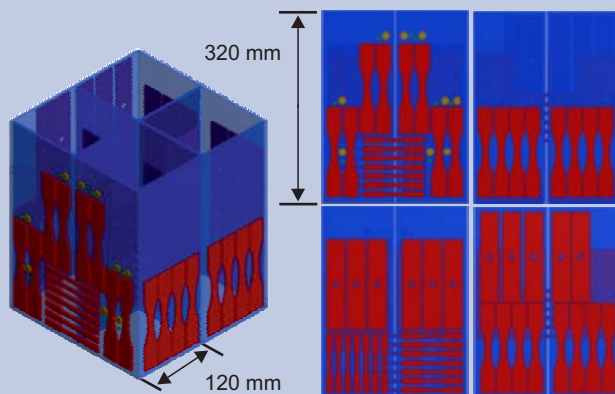
ATHENA – DEN STERNEN EIN STÜCK NÄHER

Das ATHENA-Teleskop wurde entwickelt, um das heiße und energetische Universum zu erforschen. Es soll Antworten auf fundamentale astrophysikalische Fragen liefern: Wie bildeten sich großräumige Strukturen im Universum, wie sind schwarze Löcher gewachsen und wie prägten sie das Universum? Das Fraunhofer IWS nahm erfolgreich eine wichtige Hürde im ESA-Projekt.

Eines der drei Hauptteile des Teleskops bildet die 1062 Silizium-Poren-Optiken tragende optische Bank. Zum Einsatz kommt als Hochleistungswerkstoff eine Titan-Legierung. Deren prozesssichere Verarbeitung erfordert ein umfassendes Know-how an den Schnittstellen von Werkstoff- und Strahltechnik – die Kernkompetenzen des Fraunhofer IWS. Auf dieser Grundlage überzeugte sich im Mai 2018 die Europäische Raumfahrtbehörde (ESA) während des Critical Design Reviews, der letzten Planungskontrolle vor der Umsetzung des Projekts, von der entwickelten Hybrid-Technologie. Die übergeordnete Zielgröße dieses Meilensteins hatte darin bestanden, die Interaktion modernster Systemtechnik aus dem generativen Laser-Auftrag-

schweißen, der Hochleistungszerspanung, der taktilen und optischen Messtechnik sowie der intelligenten Prozessüberwachung und Regelung akkurat aufeinander abzustimmen. Als entscheidende Erfolgskriterien lassen sich ein oxidationsfreier und endkonturnaher Werkstoffauftrag sowie die gezielte Einstellung der Werkstoffeigenschaften nennen. Diese weisen die Forscher des IWS gegenwärtig in einer umfangreichen Testkampagne nach. Die Charakterisierung umfasst die Bestimmung thermo-physikalischer Eigenschaften, die mechanische Prüfung von Härte, statischer und zyklischer Festigkeit, das Bruchverhalten sowie eine umfassende materialographische Analyse mittels hochauflösender Elektronenmikroskopie an von der optischen Bank abgeleiteten Demonstratoren. Das synergetische Zusammenspiel aus Prozessentwicklung und Werkstoffcharakterisierung markiert den entscheidenden Schritt zur anschließenden Herstellung des Großbauteils.

Detailsicht eines Hohlkammerdemonstrators der optischen Bank des ATHENA-Teleskops



Aufbau in Lagen: Der von der optischen Bank abgeleitete Hohlkammerdemonstrator aus einer Titan-Basislegierung im »As-built-Zustand« trägt 1062 Silizium-Poren-Optiken. Illustration der anwendungsspezifisch abgeleiteten Proben für den Zug- und Ermüdungsversuch sowie zur Bestimmung von Wärmeleitfähigkeit und -kapazität.

- 1 Maßgeschneiderte Fertigungszelle, die additives Laser-Auftragschweißen, kryogene Hochleistungszerspanung, taktile und optische Messtechnik sowie intelligente Prozessüberwachung und -regelung miteinander verknüpft.

KONTAKT

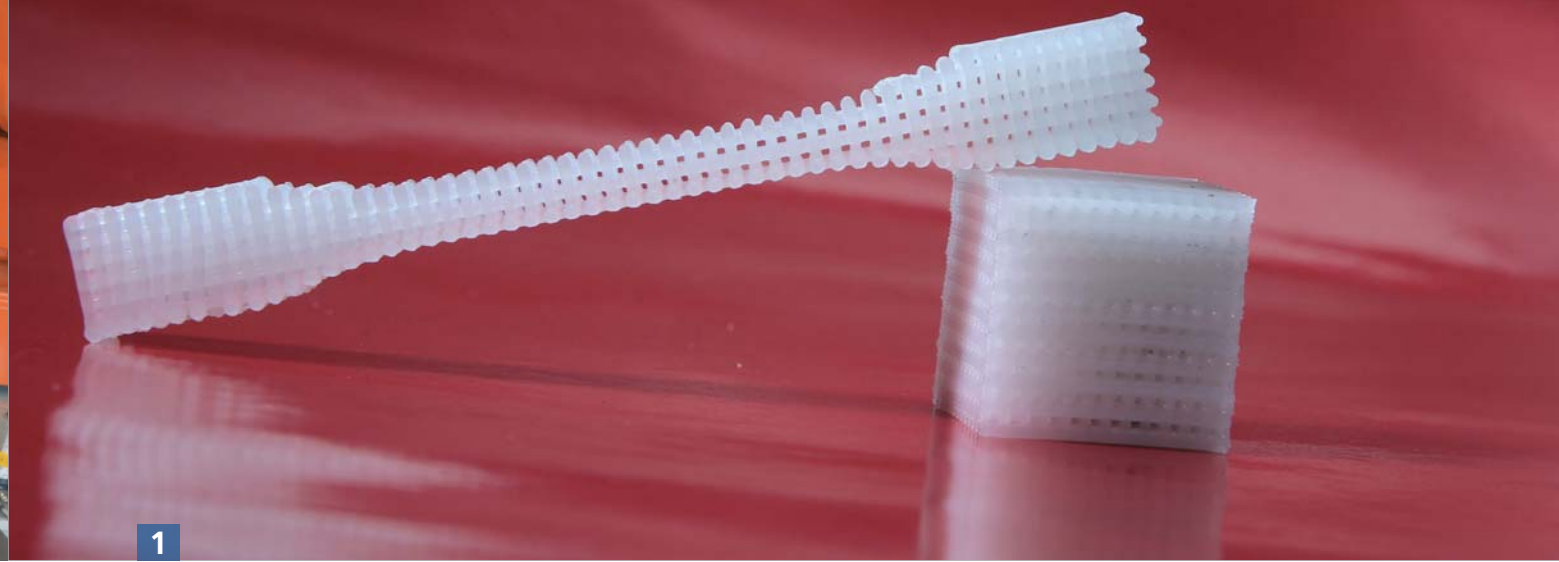
Dipl.-Ing. André Seidel

Hybridverfahren

☎ +49 351 83391-3854

✉ andre.seidel@iws.fraunhofer.de





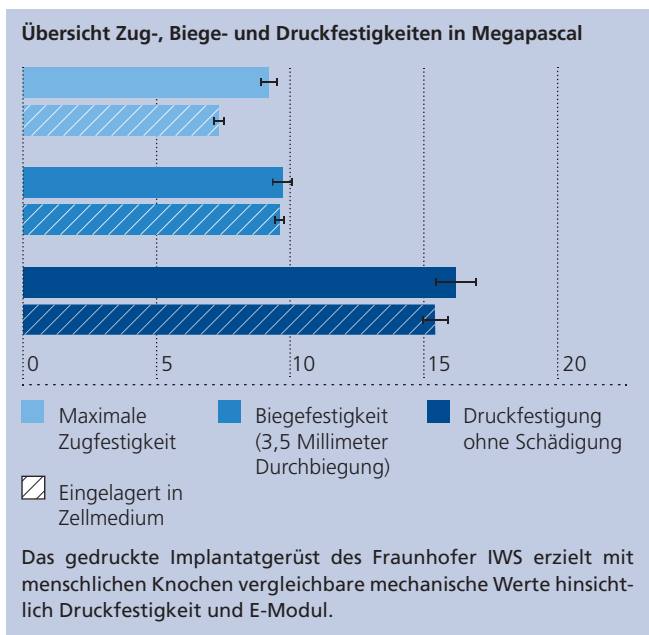
1

3D-GEDRUCKTE GERÜSTSTRUKTUREN ALS KNOCHENERSATZMATERIAL

Das Schmelzen polymerer Filamente mittels additiver Fertigung stellt einen eleganten Weg dar, um Teile mit hoher geometrischer Komplexität herzustellen. Das macht das additive Verfahren »Fused Filament Fabrication« (FFF) zu einer überlegenen Technik für die Herstellung individueller Implantate. Am Fraunhofer IWS gedruckte Implantatgerüste sollen zum Beispiel krankes oder fehlendes Gewebe zunächst ersetzen und als Anbindungspunkt für nachwachsendes dienen.

In der medizinischen Anwendung hat das thermoplastische Polymer Polylactid (PLA) aufgrund seiner Biokompatibilität und biologischen Abbaubarkeit bereits ein großes Potenzial als Implantatmaterial gezeigt. Die mit dem additiven Herstellungsverfahren FFF hergestellten dreidimensionalen PLA-Gerüststrukturen müssen für den Einsatz als Knochenersatzmaterialien ähnliche Festigkeitswerte wie der menschliche Knochen aufweisen. Zudem sollen sie in Zellwachstumsmedien ihre mechanischen Eigenschaften nicht sofort verlieren. Die PLA-Gerüste mit einer Porengröße von 0,6 mal 0,6 Milli-

metern wurden auf Zug-, Biege- und Druckfestigkeit nach den ISO-Normen 527, 14125 und 604 geprüft. Die porösen Proben zeigten eine maximale Zugfestigkeit von 9 und 7,5 Megapascal. Der E-Modul lag bei 740 Megapascal. Alle Proben bestanden den Vier-Punkt-Biegetest bei einer Durchbiegung von 3,5 Millimetern ohne zu brechen. Der Drucktest ergab Werte von 19 Megapascal ohne bleibende Schädigung. Druckfestigkeit und E-Modul erreichten im Vergleich zum humanen spongiösen Knochen ähnliche Werte, und weisen eine Festigkeit von bis zu 2 Megapascal und einen E-Modul von 275 bis 610 Megapascal auf. Nach 14-tägiger Einlagerung in das Zellmedium ließ sich keine Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften feststellen. In-vitro-Biokompatibilitätstests zeigten Akzeptanz und eine geringe Mortalität von Mausfibroblastenzellen verbunden mit einer Ansiedlung der Zellen auf den PLA-Strukturen. Die Ergebnisse machen FFF-Verfahren zusammen mit dem Material PLA zu einer interessanten Perspektive für Knochenersatzstrukturen.



1 FFF-gedruckte poröse PLA-Probekörper für die mechanische Charakterisierung.

KONTAKT

M. Sc. Lukas Stepien

Drucken

+49 351 83391-3092

lukas.stepien@iws.fraunhofer.de



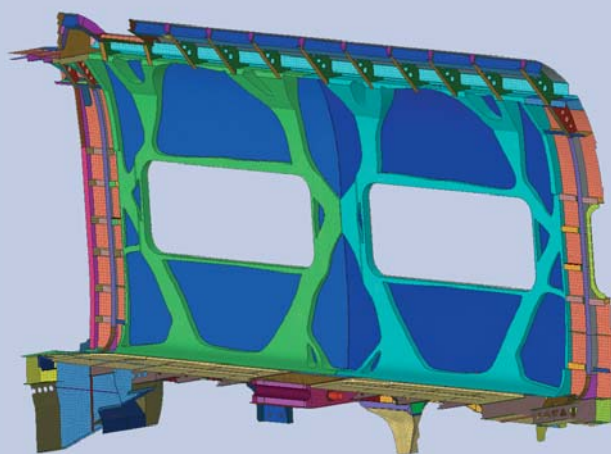
ADDITIVE HERSTELLUNG TOPOLOGIEOPTIMIERTER GROSSBAUTEILE

Das Laser-Pulver-Auftragschweißen bietet die Möglichkeit, komplexe Leichtbaustrukturen ressourcenschonend und mit geringem Fertigungsaufwand auf konventionell gefertigten Großbauteilen zu erzeugen. Dadurch lassen sich Gewichtsreduktionen von 10 bis 15 Prozent gegenüber konventionell gefertigten Komponenten realisieren.

Additive Fertigungsverfahren ermöglichen es bereits heute, komplexe metallische Bauteile im Labormaßstab herzustellen, die vermehrt Anwendung in Teilen der Hochtechnologie (Luft- und Raumfahrt) finden. Trotz der vielfältigen Vorteile dieser neuen Technologien wie Designfreiheit, Möglichkeit zur Funktionsintegration und Einsatz unterschiedlicher Materialien, leidet die Akzeptanz dieser Verfahren bisher gerade in stark kostengetriebenen Branchen. Dazu gehören der Automobilsektor und die Schienenfahrzeugtechnik aufgrund der vergleichsweise geringen Bauraten und der damit verbundenen hohen Fertigungszeiten sowie -kosten bei großen Bauteilen. Heutige Forderungen

nach Individualisierung, Einsparung von Betriebsmitteln und Reduzierung von Lagerhaltungskosten zwingen allerdings auch die traditionell vom Stahlbau geprägten Branchen wie den Schienenfahrzeugbau dazu, Leichtbaukonzepte umzusetzen, Bauteilfunktionalitäten in größeren Integralbauteilen zusammenzufassen und Stückzahlen aufgrund von Individualisierung zu reduzieren. Ein Beispiel dafür stellt die additive Fertigung topologieoptimierter Versteifungselemente auf großflächigen Bauteilen mittels Laser-Pulver-Auftragschweißens (LPA) dar. Die Kombination von Serienfertigungsprozessen und additiven Verfahren steigerte die Bauteilkomplexität bereits enorm. Damit dieser Ansatz allerdings konkurrenzfähig gegenüber konventionellen Fertigungsverfahren wird, ist eine Weiterentwicklung des LPAs hin zu einem Hochleistungsprozess nötig. Der Entwicklungsfokus der Forscher am Fraunhofer IWS richtet sich daher darauf, die Fertigungszeiten zu reduzieren und die Aufbauraten signifikant zu steigern. Die prozessimmanenten immensen Energie- und Materialströme stellen dabei höchste Anforderungen an die verwendete Systemtechnik. Damit zukünftig topologieoptimierte Großbauteile, vor allem von geringer Stückzahl, in ihrer vollständigen Komplexität ressourcenschonend und effizient mittels additiver Fertigung zu wirtschaftlichen Preisen erzeugt werden können, erfolgt eine kontinuierliche Optimierung des Prozesses und der Systemtechnik.

Topologieoptimierte Versteifungsstruktur für ein Waggonsegment



Auf ein konventionell gefertigtes Waggonsegment werden komplexe Leichtbaustrukturen (grün und hellblau) ressourcenschonend und mit geringem Fertigungsaufwand per Laser-Pulver-Auftragschweißen aufgetragen. Dadurch lässt sich das Gewicht um bis zu 15 Prozent im Vergleich zu konventionellen Verfahren reduzieren.

KONTAKT

Dipl.-Ing. Mirko Riede

3D-Generieren

+49 351 83391-3188

mirko.riede@iws.fraunhofer.de



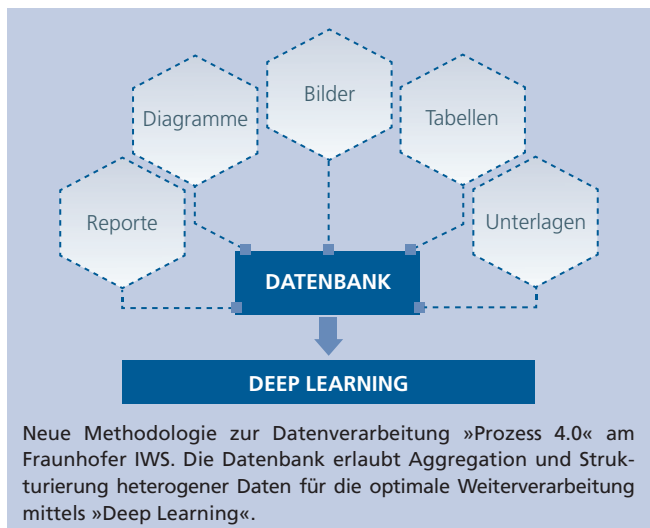


WERKSTOFFDATENMANAGEMENT UND AUSWERTUNG

Um in der Produktion von morgen wettbewerbsfähig zu sein, ist es notwendig, die in laserbasierten Produktionsprozessen generierten Daten zu aggregieren, zu strukturieren und mittels moderner Algorithmen zu analysieren. Zu diesem Zweck entwickelte das Fraunhofer IWS eine leistungsfähige, »Deep Learning« unterstützende Datenbank.

Das Kompetenzzentrum Datenmanagement fußt auf der Kooperation des Fraunhofer IWS mit der TU Dresden und dem Universitätsklinikum Dresden. Gemeinsam entwickeln die Partner interaktive Datenbankssysteme und »Deep-Learning-Methoden« zur Bearbeitung großer Datenmengen. Im Fokus stehen digitale Bilder, Prozessparameter sowie Forschungs-, Sensor- und Patientendaten. Das IWS führt heterogene Maschinendaten automatisiert zusammen und verwertet diese mittels »Deep Learning«. Ebenso wichtig bei Laserprozessen sind das Datenmanagement und der verantwortungsvolle Umgang mit erhobenen Informationen. Digitale Zwillinge verbinden Prozesse, Produkte, Betriebsmittel und Beschäftigte. Die Kommunikation erfolgt über das Internet. »Deep Learning« beinhaltet durch das menschliche Gehirn inspirierte Techniken und Algorithmen zur vielseitigen Datenverarbeitung. Dies erlaubt

den Umgang mit Informationen, die in ihrer Größe, Diversität und Komplexität neue Datenverarbeitungs- und Analysetechniken erfordern, um daraus verborgenes Wissen zu gewinnen. Dieses Wissen findet dann wiederum Eingang in Prozesse, sodass eine Wertschöpfung mittels »Deep Learning« stattfindet. Datenbanken wie »Prozess 4.0« werden am Fraunhofer IWS Dresden im Laborbetrieb entwickelt und erprobt. Das Kompetenzprofil der Gruppe Bildverarbeitung und Datenmanagement des Fraunhofer IWS beinhaltet device-optimiertes Feedback mit digitalen Zwillingen, Prozessverfolgung, »Deep Learning« sowie die externe Maschinenüberwachung, mobil und online. Es kommen vielfältige Softwaretechnologien, wie zum Beispiel .Net, Java, Python und QT, zum Einsatz. Eine Werkstoff- und Prozessdatenplattform ermöglicht es, laserbasierte Prozesse und den Aufbau digitaler Zwillinge genau zu verfolgen. Die Plattform ist in der Lage, automatisch Berichte auf Basis von Prozessdaten zu erstellen und ermöglicht eine direkte Anwendung von »Deep Learning« durch optimierte Datenbankschemata.



1 Symbolbild für eine neue Methodologie zur Datenverarbeitung »Prozess 4.0« im Fraunhofer IWS.

KONTAKT

Prof. Dr. Karol Kozak
 Bildverarbeitung und Datenmanagement
 ☎ +49 351 83391-3717
 ✉ karol.kozak@iws.fraunhofer.de





Geschäftsfeldleiter **Dr. Jens Standfuß**

DAS GESCHÄFTSFELD

Lösungen komplett aus einer Hand bietet das Geschäftsfeld Fügen. Ausgestattet mit fundiertem werkstofftechnischem Fachwissen bilden die Forscher eine komplexe Prozesskette ab: von der Analyse des Werkstoffverhaltens über die Verfahrensentwicklung bis hin zur Umsetzung in maschinentechnischen Lösungen. Das Geschäftsfeld entwickelt angepasste Fügetechnologien und begleitet diese bis in die industrielle Anwendung. Das Laserstrahlschweißen ermöglicht es, fehlerfreie Schweißverbindungen aus risskritischen Werkstoffen herzustellen. Für stoffschlüssiges Fügen moderner Funktionswerkstoffe und metallischer Verbindungen werden Verfahren wie das Rührreißschweißen und das elektromagnetische Pulsfügen weiterentwickelt. Moderne Labore und effiziente Anlagentechnik stehen für die Entwicklung von Technologien des Klebens und der Faserverbundtechnik zur Verfügung. In der Bauteilauslegung erstellt das Geschäftsfeld Fügen strukturmechanische Finite-Elemente-Simulationen sowie thermisch-mechanisch gekoppelte Berechnungen und verifiziert diese im Experiment. Abgerundet wird das Portfolio mit der Entwicklung individuell angepasster Systemtechnik.

**Abteilungsleiter
Laserstrahlfügen**



Dr. Axel Jahn

+49 351 83391-3237

axel.jahn@iws.fraunhofer.de

**Gruppenleiter
Laserstrahlschweißen**



Dr. Dirk Dittrich

+49 351 83391-3228

dirk.dittrich@iws.fraunhofer.de

**Gruppenleiter
Bauteilauslegung**



Dr. Axel Jahn (komm.)

+49 351 83391-3237

axel.jahn@iws.fraunhofer.de

**Gruppenleiterin
Kleben und Faserverbundtechnik**



Dipl.-Ing. Annett Klotzbach

+49 351 83391-3235

annett.klotzbach@iws.fraunhofer.de

**Gruppenleiter
Sonderfügeverfahren**



Dr. Sebastian Schulze

+49 351 83391-3565

sebastian.schulze@iws.fraunhofer.de

»LASER-FUCHS« JAGT HÖHERE WIRKUNGS- GRADE VON HOCHTEMPERATURPROZESSEN

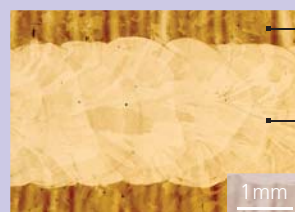
Das Fraunhofer-Projekt »Laser-Fuchs« erforscht einen neuen Schweißprozess zur Herstellung von Schlüsselkomponenten für große Anlagen in der Energietechnik. Die Entwicklungen zielen darauf ab, Komponenten in einer Turbine für eine höhere Arbeitstemperatur zu befähigen, sodass sich deutlich höhere Wirkungsgrade erzielen lassen. Das Fraunhofer IWS steuert eine hocheffiziente schädigungsarme Füge-technologie bei.

Technologien entwickeln, die zu einer Effizienzsteigerung zum Beispiel in Turbinen beitragen: Dieser Aufgabe widmet sich das Projekt »Laser-Fuchs«. Stiege etwa die Arbeitstemperatur in Verbrennungskraftwerken auf 700 °C, erhöhte sich gleichzeitig der Wirkungsgrad von 33 auf 50 Prozent und Schätzungen zufolge reduzierte sich deren CO₂-Ausstoß um drei Billionen Tonnen weltweit. Neben den vorteilhaften Werkstoffaspekten ließen sich durch das entwickelte Schweißverfahren Produktionszeiten verkürzen, die zu einer verschlankten Fertigungskette führen. Die Fraunhofer-Institute für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, für Werkstoffmechanik IWM und für Keramische Technologien und Systeme IKTS setzten sich zum Ziel, ein Schweißverfahren zu entwickeln, das hinsichtlich der Eigenschaften der Naht gewährleistet, dass sich auch die Eigenschaften des Grundwerkstoffs nutzen lassen. Die Kernaufgabe des federführenden Fraunhofer IWS besteht darin, das hocheffiziente und schädigungsarme Laser-Mehrlagen-Engspaltschweißen (Laser-MES) der Nickellegierung »617 occ (optimised chemical composition)« für Wanddicken bis 140 Millimetern zu entwickeln. Das Fraunhofer IWM befasst sich mit der Qualifizierung der laser-geschweißten Verbindungen unter Ermüdungsbedingungen bei Hochtemperaturbelastung und das Fraunhofer IKTS arbeitet die Qualitätssicherung und Überwachung der einhergehenden Prozessentwicklung von Geräten und Technologien aus.

Systemtechnik und Prozessentwicklung

Die Entwicklung der Laser-MES-Schweißtechnologie erfolgte in zwei Kernpunkten: Aufbau der leistungsfähigen Systemtechnik in Form des Schweißkopf-Prototyps *remoweld*[®]MES und einer intensiven Prozessentwicklung. Grundvoraussetzung für das Schweißen der heißbrissempfindlichen Legierung war es, die aufgewendete Energie möglichst gering zu halten und die Laserleistung gleichzeitig kontrolliert in das Bauteil einzubringen. Hochpräzise Scanner spiegeln sensorgestützt den Laserstrahl auf weniger als ein Zehntel genau in den mechanisch vorbereiteten zwei bis acht Millimeter breiten Fügespalt hinein. Die Prozessentwicklung fand an Ringsegmenten statt, die den späteren Anwendungsfall an dickwandigen Rohren für Hochtemperaturprozesse widerspiegeln. Den Höhepunkt der Entwicklung stellt ein 500-Kilogramm-Demonstrator mit einem Außendurchmesser von 485 und einer Wandstärke von 140 Millimetern dar. Dabei erhöhten die Wissenschaftler die maximale Abschmelzleistung

Detailausschnitt aus Laser-MES-Schweißnaht



Grundwerkstoff /
Wärmeeinflusszone

Schweißgut

1mm

Durch den Laser-MES-Prozess entsteht eine homogene, hochbelastbare Schweißverbindung, die eine hohe Lebensdauer der Bauteile erwarten lässt.



des Laser-MES-Verfahrens sukzessive auf bis zu 1,5 Kilogramm pro Stunde, wodurch sich die Schweißdauer deutlich verkürzt. Sie stützten sich in der Herangehensweise auf das Design-of-Experiment-Verfahren (DoE), das es auch bei kostenintensiven Werkstoffen wie Nickel mit geringer Probenanzahl erlaubt, Prozesse fundiert zu entwickeln.

Hervorragendes Werkstoff- und Ermüdungsverhalten

Im Fokus steht aktuell, die Wirksamkeit des Verfahrens in der Werkstoffanalyse zu bestätigen. Eine feinzellulardendritische Schweißgutstruktur mit feinen Ausscheidungen sowie gleichmäßig verteilten Karbiden im Schweißgut und der Wärmeeinflusszone sind erste Indizien für die hohe Qualität der erzeugten Schweißverbindung. Selbst eine thermische Belastung durch sogenannte Stabilglühung bei 980 °C über eine Dauer von ca. drei Stunden führt nur zu einer leichten Vergrößerung der homogen verteilten Ausscheidungen und Karbide – es besteht keine Gefahr ausgeprägter karbidfreier Zonen. An eben diesem Werkstoffzustand ermittelten die Forscher in aufwendigen Versuchen die Zug- und Ermüdungsfestigkeit im Vergleich zum Grundwerkstoff. Dessen hohe Festigkeit übertreffen die untersuchten Schweißverbindungen sogar. Die Proben zeigen dabei eine leicht reduzierte Bruchdehnung. Die Forscher des Fraunhofer IWM prüften das mechanische Verhalten von Proben, die mit dem neu entwickelten Laser-MES-Prozess unter praxisrelevanten Beanspruchungen hergestellt wurden, wie sie in einer Turbine (700 °C) auftreten können. Mit diesen Ergebnissen bauten sie ein Lebensdauer-Prognose-Tool auf, das sowohl den Zeitpunkt der Rissinitiierung als auch das Risswachstum in geschweißten Bauteilen im Hochtemperatureinsatz vorhersagen kann. Für die Schweißverbindung zeigten die Forscher in ihren Analysen eine hervorragende Belastbarkeit auf. Die Proben bleiben länger intakt und erhöhen somit die Lebensdauer der Bauteile. Zu erwarten sind niedrige Kosten bei der Fertigung und später im Einsatz der Turbine.

Qualitätssicherung rückt in greifbare Nähe

Am Fraunhofer IKTS entwickeln die Forscher für den Laser-MES-Prozess geeignete Prüftechnologien, die eine zerstörungsfreie Bewertung der geschweißten Proben inline-fähig machen. Da die Legierung »617 occ« für die sonst in der Energietechnik übliche Ultraschallprüfung bereits wegen der vorliegenden Wandstärken und ihres hohen Dämpfungsverhaltens nur schwierig zu durchdringen ist, erfassen die Wissenschaftler mit dem Ultraschall verdeckte Fehlstellen, hören mittels akustischer Körperschall-Sensoren in die Probe hinein und visualisieren die Schweißnahtoberfläche mithilfe der Speckle-Photometrie. Alle drei Verfahren verfolgen das Ziel, möglichst frühzeitig Prozessinstabilitäten aufzuspüren, die Fehler in der Schweißnaht verursachen können. Es gelang eine richtlinienbasierte Entscheidungsgrundlage über die Fortführung oder den Abbruch des Prozesses zu entwickeln. Der Anwender profitiert von einer Ampel-Farbcodierung, die drei Qualitätszustände mitteilt. Allgemein gefordert sind scharfe Trenngrenzen und das Anzeigen der Fehlerart. Diesen Herausforderungen stellen sich die Fraunhofer-Forscher zukünftig, um die Qualitätssicherung des Laser-MES-Prozesses eindeutig zu bestimmen.

- 1 *Laser-MES geschweißte Nickel-Ringprobe mit 140mm Schweißtiefe für potenzielle Anwendungen in 700°C-Verbrennungskraftwerken.*
- 2 *remoweld®MES-Schweißkopf-Prototyp, technisch geeignet zur Herstellung von bis zu 250mm tiefen Schweißverbindungen; integrierte Optik zur Strahloszillation, um eine sichere Anbindung der Bauteilflanken, sowie die Abschmelzung von Schweißzusatzwerkstoff während des Laser-MES-Prozesses zu gewährleisten.*

Gefördert im Rahmen der internen Programme der Fraunhofer-Gesellschaft, Fördernummer WISA 828 505.

KONTAKT

Dr. Dirk Dittrich

Laserstrahlschweißen

☎ +49 351 83391-3228

✉ dirk.dittrich@iws.fraunhofer.de

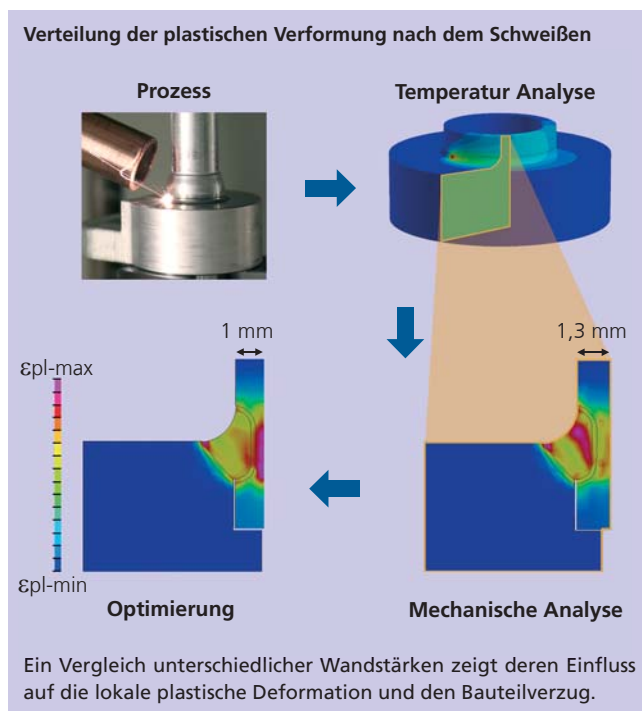


PROZESS- UND BAUTEILANGEPASSTES SCHWEISSNAHTDESIGN

Das Fraunhofer IWS hat sich auf die Entwicklung anspruchsvoller Laserstrahlschweißprozesse für industrielle Anwendungen spezialisiert. Dabei spielt neben der reinen prozesstechnischen Gestaltung auch die Auslegung der Verbindungszone eine entscheidende Rolle. Für beides leistet eine FE-Schweißprozesssimulation wertvolle Hilfestellung.

Die Entwicklung industrieller Schweißprozesse ist eine komplexe Aufgabe. Dabei müssen sowohl prozess- und werkstofftechnische als auch konstruktive Fragestellungen geklärt werden. Herkömmlicherweise erfolgt dazu eine aufwendige experimentelle Prozessentwicklung mit iterativer Anpassung der Schweißkonstruktion, damit fehlerfreie Schweißverbindungen erzeugt und die Betriebsbelastungen in der Schweißnaht ertragen werden können. Das Fraunhofer IWS hat nun die Kompetenzen aufgebaut, um mit spezifischen FEM-Prozesssimulationen die

Schweißprozessentwicklung effektiv zu unterstützen. Vorteile sind die vergleichsweise einfache Vorauswahl von Prozessparametern und die Festlegung der Schweißnahtkonstruktion, ohne aufwendige Versuche durchführen zu müssen. Das FE-Modell bildet die reale Bauteilgeometrie und die Energieverteilung des Laserstrahls ab, wobei eine Kalibrierung über wenige experimentelle Schweißversuche erfolgt. In der Berechnung werden dann das bewegte Temperaturfeld des Laserstrahls und die Abkühlung sowie die dabei ablaufenden Phasenumwandlungen der Werkstoffe in der Schweißnaht simuliert. Die Auswertung liefert schließlich Werte für die Schweißbeigenspannungen und den Bauteilverzug. Darüber hinaus können die IWS-Wissenschaftler auch die thermische Belastung angrenzender Bauteilbereiche bewerten. Für die nachfolgende Prozessentwicklung grenzen sie so im Vorfeld wichtige Parameter wie Laserspotgeometrie, Leistungsverteilung und Schweißgeschwindigkeit ein. Zudem optimieren sie die Bauteilkonstruktion hinsichtlich Steifigkeit und Ableitung der Schweißwärme, um schweißtechnische Schwierigkeiten (zum Beispiel Rissbildung) zu vermeiden.



KONTAKT

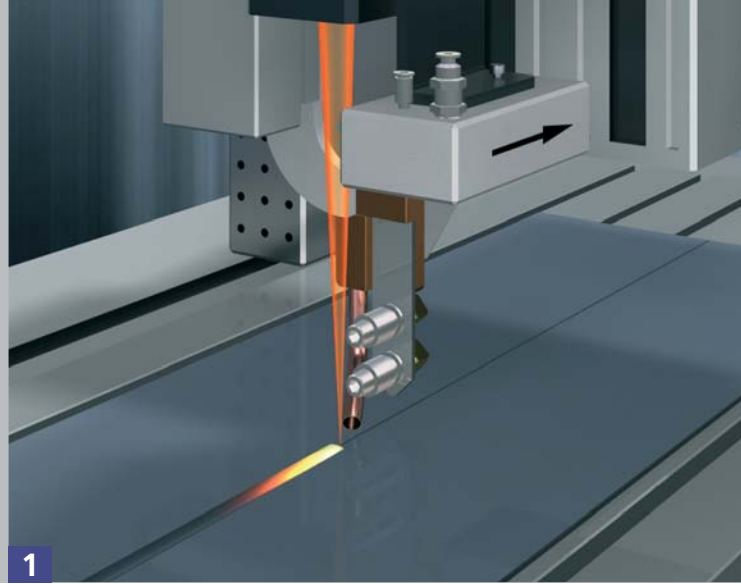
Dr. Axel Jahn

Bauteilauslegung

+49 351 83391-3237

axel.jahn@iws.fraunhofer.de





LASERSTRAHLSCHWEISSEN: MODERNE STRAHLSQUELLEN ERWEITERN EINSATZSPEKTRUM

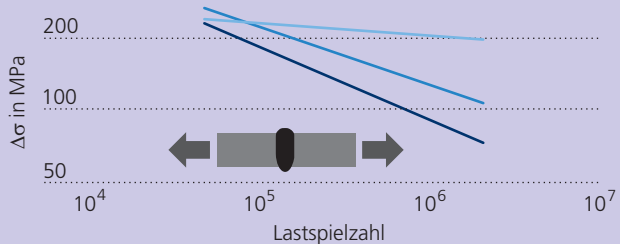
Die Entwicklung von Laserstrahlquellen zum Schweißen schreitet dynamisch voran. Dabei verbessern sich zunehmend Strahlqualität, Leistungen und Flexibilität. Insbesondere für das Schweißen hochfester Baustähle für Blechdicken bis zehn Millimeter bieten sich vielfältige neue Möglichkeiten. Das Fraunhofer IWS liefert dazu prozesstechnisches Know-how und Kennwerte für die Beanspruchbarkeit der Schweißnähte.

Neue kompakte Laserstrahlquellen mit ausreichender Strahlqualität und Leistung ermöglichen es mittlerweile, Schweißaufgaben aus dem konventionellen Stahl- und Anlagenbau zu übernehmen. Die Voraussetzung dafür: Die typischen Wandstärken müssen sicher verschweißt und die Schweißspalte zuverlässig überbrückt werden. Das Fraunhofer IWS wies dazu in einer Studie nach, dass ein 9-kW-Diodenlaser die typische Stumpfstoßschweißung eines acht Millimeter starken Baustahlblechs mit ausreichend guter Nahtqualität herstellen kann. Dabei zeigt sich vor allem eine hohe Prozessstabilität, weil sich die Schweißspalten bis zu einem Millimeter sicher überbrücken lassen. Damit erschließen sich dem Laserstrahlschweißverfahren neue Anwendungsgebiete, die bislang hauptsächlich den herkömmlichen Lichtbogenprozessen vorbehalten waren.

Nachweis ausreichender Schwingfestigkeit

Sollen Schweißnähte im überwachungspflichtigen Bereich eingesetzt werden, sind deren mechanische Eigenschaften nachzuweisen. Bisher waren allerdings abgesicherte Schwingfestigkeitswerte für lasergeschweißte Verbindungen nicht ausreichend verfügbar. In einem Gemeinschaftsprojekt mit der TU Braunschweig untersuchte das IWS deshalb das Ermüdungsverhalten lasergeschweißter Baustahlverbindungen mit bis zu zehn Millimetern Blechdicke. Dabei stellte sich heraus, dass Faserlaser- und Scheibenlasernahte den konventionell geschweißten Lichtbogenverbindungen in ihrer Schwingfestigkeit mindestens gleichwertig sind. Somit schafften die Forscher die Voraussetzungen für einen Einsatz von Laserstrahlschweißnähten in ermüdungsbelasteten Bauwerken.

Ergebnisse der Schwingfestigkeitsuntersuchungen für lasergeschweißte Stumpfnahte aus 6-mm-Baustahl (S355J2+N bzw. S960QL).



■ Faserlaser ■ Scheibenlaser ■ IIV-Empfehlung (FAT71)

Vergleich der Wöhlerlinien von Faser- und Scheibenlaserschweißnähten mit den relevanten Auslegungskennwerten aus einschlägigen technischen Regelwerken (IIV-Empfehlungen, FAT71 für einseitig geschweißte Stumpfnahte ohne Nachbearbeitung).

1 Schematische Darstellung für das Laserstrahlschweißen von Blechproben für die anschließende Ermüdungsprüfung.

KONTAKT

Dr. Axel Jahn

Bauteilauslegung

+49 351 83391-3237

axel.jahn@iws.fraunhofer.de





SAUBERE REMOTE-PROZESSE FÜR SICHERES FÜGEN

Wird der Laser zum Reinigen und Abtragen an Bauteilen eingesetzt, so sind die dabei auftretenden Emissionen gezielt aus dem Bearbeitungsraum zu entfernen. Dieser Aufgabe haben sich die Forscher des Fraunhofer IWS auch für Remoteprozesse gestellt. Mithilfe einer Modellumgebung zur Abbildung der Partikelbewegungen und Luftströmungen minimierten sie Partikel- und Schmauchablagerungen deutlich.

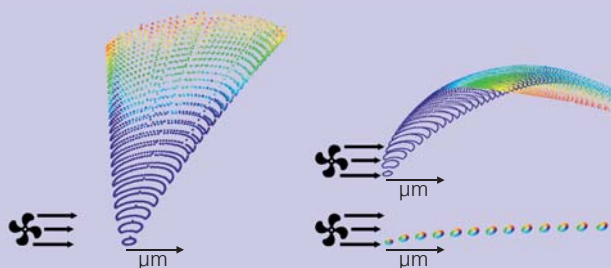
Der lokale laserunterstützte Abtrag von oberflächlichen Verschmutzungen vor dem Kleben oder dem thermischen Fügen dient nicht nur der Reinigung. Gleichzeitig kann er die Oberflächentopologie so anpassen, dass Kleb- oder Kunststoffe besser am Fügepartner haften. Die beim Prozess entstehenden Partikel müssen jedoch aus dem Bearbeitungsbereich entfernt werden, um die Rekontamination der bearbeiteten Bauteile zu verhindern und gleichzeitig die Anlagenbediener vor gesundheitsgefährdenden Stoffen zu schützen. Die Herausforderung: Bei der Remote-Bearbeitung lässt sich quasi gleichzeitig eine Fläche von bis zu einem Quadratmeter bearbeiten. Gemeinsam mit Forschern der TU Dresden analysierte das IWS deshalb die Partikel- sowie gasförmigen Emissionen bei der Laserbearbeitung von Metallen und CFK. Die Messungen zeigten deutliche Unterschiede sowohl in der Partikelgrößenverteilung als auch in den entstandenen gasförmigen Spezies. Mithilfe der Simulations-

umgebung »Fluent« stellten die Forscher den Laserabtragsprozess vereinfacht nach und visualisierten die prozesscharakteristischen Emissionsströmungen. Empirisch erarbeitete Ansätze einer Kombination aus Querjet und Absaugmodul bildeten sie in der Modellumgebung nach und konnten so Anordnung sowie Strömungsverhältnisse optimieren. Mit Abschluss des Projekts wird dem Anwender von Laserprozessen ein Werkzeug zur Verfügung stehen, das die Emissionsentfernung verbessert und damit eine ausreichende Sauberkeit der bearbeiteten Bauteile garantiert.

- 1 Um eine ausreichende Haftung des angespritzten Kunststoffes am beschichteten Stahlblech zu erzielen, trägt der Laserstrahl lokal einen Teil der Zinkschicht ab.

Ein Teil dieser Forschung wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie auf der Grundlage der Entscheidung des Deutschen Bundestags im Rahmen des Projekts »CleanRemotek« (IGF:19239BR) gefördert.

»Fluent« berechnet die Flugbahn verschiedener Partikelgrößen



Die beim Laserremoteprozess entstehenden Emissionen setzen sich aus verschiedenen Partikelgrößen zusammen. Deshalb wird die Partikelflugbahn bei vorgegebenen Strömungsverhältnissen größenselektiv ermittelt.

Gefördert vom  Bundesministerium für Wirtschaft und Energie



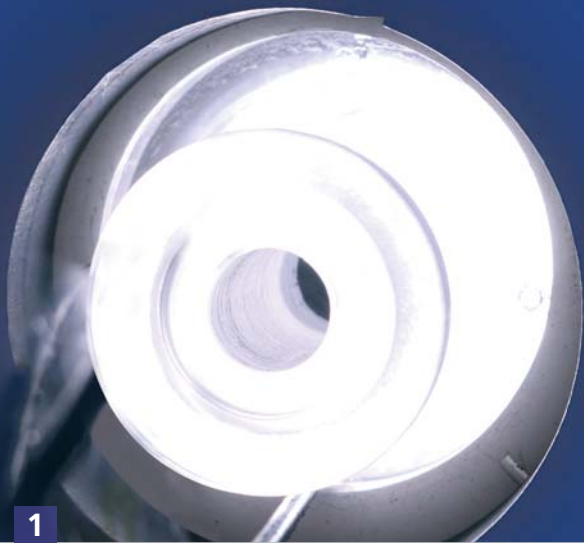
KONTAKT

Dipl.-Ing. Annett Klotzbach
Kleben und Faserverbundtechnik

☎ +49 351 83391-3235

✉ annett.klotzbach@iws.fraunhofer.de



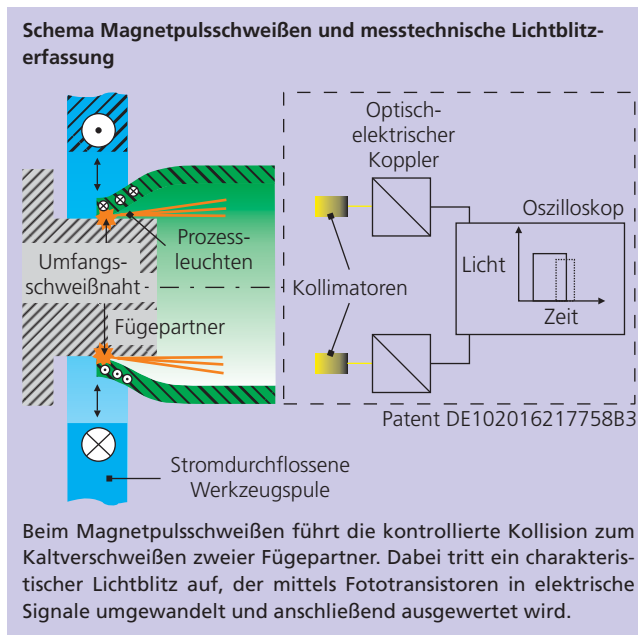


MAGNETPULSSCHWEISSEN VERBINDET, WAS ZUSAMMENGEHÖRT

Zukünftige Mischbaukonzepte erfordern das stoffschlüssige Verbinden verschiedenartiger Metalle. Das Magnetpulsschweißen eignet sich hervorragend für diese Aufgabe und wird deshalb für Produktionsplaner zunehmend interessanter. Forscher am Fraunhofer IWS bieten nun eine neue Methode an, um den Fügevorgang genau zu überwachen und die Parameter bei diesem Kaltschweißprozess zu optimieren.

Das Magnetpulsschweißen basiert auf der kontrollierten Kollision zweier Fügepartner, wobei der thermische Energieeintrag im Vergleich zum Schmelzschweißen deutlich reduziert ist. Dadurch lassen sich Verbindungsfestigkeiten auf dem Niveau des schwächeren Grundwerkstoffs erzielen und spröde intermetallische Phasen vermeiden. Starke Magnetfelder von 20 bis 30 Tesla und Prozesszeiten von wenigen Mikrosekunden erschweren es, prozessrelevante physikalische Größen während des Magnetpulsschweißens zu erfassen. Daher war das Einstellen des Prozesses bisher sehr aufwändig, eine direkte messtechnische Überwachung praktisch nicht möglich. Ingenieure am

Fraunhofer IWS entwickelten ein Gerät, um das für Kollisionsschweißprozesse charakteristische Prozessleuchten aufzuzeichnen und auszuwerten (Patent DE102016217758B3). Die Leistungsfähigkeit des Geräts wurde bereits in mehreren Industrieprojekten nachgewiesen. Seine Einsatzmöglichkeiten erstrecken sich vom schnellen Identifizieren geeigneter Prozessparameter bis hin zur Qualitätssicherung in der Produktion. Das System erkennt zuverlässig Fehler in der Positionierung der Fügepartner oder unerwünschte Verschmutzungen der zu fügenden Oberflächen.



- 1 Das blitzartige Leuchten beim Magnetpulsschweißen erhellt den Prozessraum.
- 2 Das Magnetpulsschweißen eignet sich sowohl zum Herstellen hybrider Rohrverbindungen, in diesem Fall zwischen Stahl und Aluminium mit 80 mm Durchmesser, als auch zum Verschweißen von Blechen.

Gefördert von der DFG (Schwerpunktprogramm 1640, Förderkennzeichen BE 1875/30-3) in Kooperation mit dem Institut für Fertigungstechnik (TU Dresden) und dem Institut für Umformtechnik und Leichtbau (TU Dortmund).

Gefördert vom



KONTAKT

M. Sc. Jörg Bellmann

Sonderfügeverfahren

+49 351 83391-3716

joerg.bellmann@iws.fraunhofer.de



LASERABTRAGEN UND -TRENNEN



Geschäftsfeldleiter **Dr. Andreas Wetzig**

DAS GESCHÄFTSFELD

Hochspezialisiert und unkonventionell – das Geschäftsfeld Laserabtragen und -trennen kommt bei allen Anforderungen ins Spiel, für die der Markt keine kommerziellen Lösungen bereithält. Unsere Wissenschaftler erforschen und entwickeln Verfahren und Systemtechnik rund um den Laser. Für den effizienten Einsatz der entwickelten Lösungen runden die Prozessauslegung und -analyse das Portfolio ab. Dem Fraunhofer IWS steht eine breite Spanne gängiger Laserquellen unterschiedlicher Wellenlänge, Leistung und Strahlqualität zur Verfügung. Die Forscher fokussieren sich sowohl auf metallische als auch nichtmetallische Werkstoffe. Darüber hinaus verfügen sie über umfassendes Fachwissen hinsichtlich der Bearbeitung von weichmagnetischen Werkstoffen. Im Fokus stehen Schnittgeschwindigkeit, Kantenqualität, Konturgenauigkeit und Taktzeitoptimierung. Zum Einsatz kommen Verfahren wie das Schmelz-, Brenn- und Remoteschneiden sowie das Bohren, Abtragen und das Hochgeschwindigkeitsbehandeln mit hohen Laserleistungen.

**Abteilungsleiter
High-Speed-Laserbearbeitung**



Dr. Jan Hauptmann

☎ +49 351 83391-3236

✉ jan.hauptmann@iws.fraunhofer.de

**Gruppenleiter
Lasersystemtechnik**



Dipl.-Ing. Peter Rauscher

☎ +49 351 83391-3012

✉ peter.rauscher@iws.fraunhofer.de

**Gruppenleiter
Laserschneiden Nichtmetalle**



Dr. Jan Hauptmann (komm.)

☎ +49 351 83391-3236

✉ jan.hauptmann@iws.fraunhofer.de

**Gruppenleiter
Laserschneiden**



Dr. Patrick Herwig

☎ +49 351 83391-3199

✉ patrick.herwig@iws.fraunhofer.de

**Gruppenleiter
Prozessauslegung und -analyse**



Dr. Achim Mahrle

☎ +49 351 83391-3407

✉ achim.mahrle@iws.fraunhofer.de

PROZESSEFFIZIENZ VON VERFAHREN DER LASERMATERIALBEARBEITUNG BEWERTEN

Wie effizient ist mein Prozess? Bestehen Möglichkeiten, den energetischen Wirkungsgrad eines Prozesses zu verbessern? Wie kann ich eine solche Verbesserung nachweisen? Dies sind nur einige der Fragestellungen, die im Sinne einer ressourcenschonenden Fertigung auch im Umfeld der Lasermaterialbearbeitung häufig gestellt werden. Daher entwickelten Forscher jetzt ein Verfahren zur Bewertung der thermischen Prozesseffizienz.

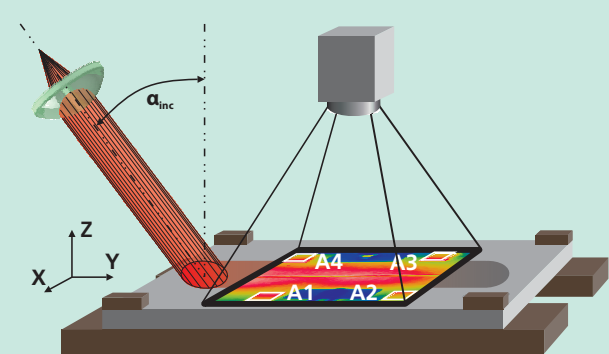
Prozesse energetisch effizienter zu gestalten, gehört zu den Herausforderungen der Lasermaterialbearbeitung. Entwicklungen in diese Richtung zielen darauf ab, Fertigungskosten zu reduzieren. Gleichzeitig lässt sich bei effizienter Prozessführung die Bearbeitungsqualität der Bauteile verbessern, indem Wärmeeinflusszonen sowie thermisch induzierte Spannungen und Verzüge auf ein Minimum reduziert werden. Bislang fehlte ein präzises Verfahren, um die thermische Prozesseffizienz unter realen Bedingungen bewerten zu können.

Neue Messmethodik ermittelt Prozesswirkungsgrade

Um Prozesse bezüglich ihrer Effizienz oder Ansätze zur Verbesserung des thermischen Wirkungsgrads beurteilen zu können, bedarf es angepasster und möglichst genauer Untersuchungsmethoden. Die thermische Effizienz eines Bearbeitungsprozesses entspricht dem Verhältnis der thermischen Nutzenergie zur insgesamt eingesetzten Laserenergie. In der Lasermaterialbearbeitung lassen sich hohe thermische Wirkungsgrade erzielen, wenn ein möglichst hoher Anteil der eingestrahelten Laserenergie vom Werkstoff absorbiert wird. Kalorimetrische Methoden ermöglichen es, diesen als Einkoppelgrad bezeichneten Anteil zu ermitteln. Allerdings erweisen sich die dazu genutzten konventionellen Ansätze als zu ungenau für die Analyse dynamischer Prozesse. Daher entwickelten Wissenschaftler des Fraunhofer IWS und der TU Dresden in enger Kooperation eine neue Messmethodik zur Ermittlung von Prozesswirkungsgraden in der Lasermaterialbearbeitung. Ihr Lösungsansatz basiert auf

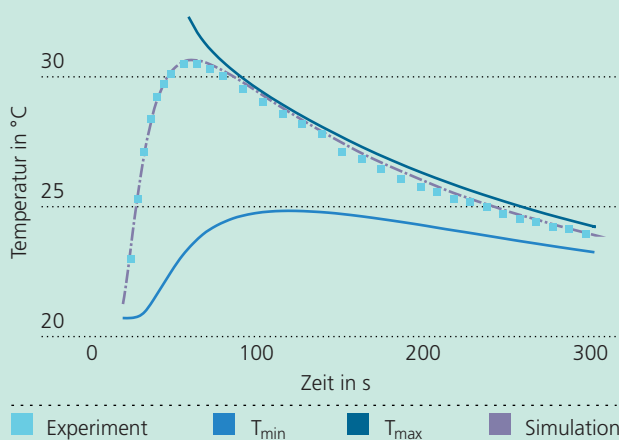
der physikalisch definierten Wärmeausbreitung in Festkörpern. So ist es einerseits möglich, das zeitliche und räumliche Temperaturfeld in einem Probenkörper exakt zu berechnen. Andererseits ermitteln berührungslose thermografische Messungen Oberflächentemperaturen mit hoher Genauigkeit. Eine Zusammenführung beider Signale erfolgt in definierten Messbereichen. Eine Übereinstimmung ergibt sich unter der Voraussetzung, dass der betreffende und der gesuchte Wert des Einkoppelgrads der Temperaturfeldsimulation zugrunde gelegt wird. Dieser entspricht dem Messergebnis zur Bewertung der Prozesseffizienz. Indem die Wissenschaftler die Messphase des Probenabkühlverlaufs über ein größeres Zeitintervall betrachten, gewährleisteten sie

Versuchsaufbau zur Wirkungsgradbestimmung



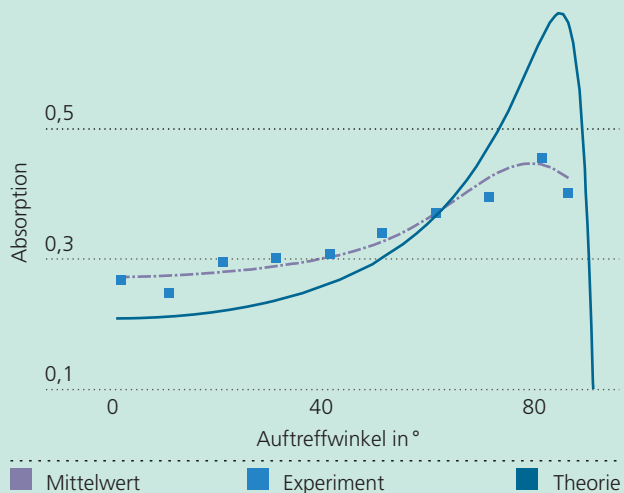
Versuchsaufbau zur Ermittlung des Prozesswirkungsgrades eines thermischen Bearbeitungsprozesses. Die Oberflächentemperaturen werden in definierten und zuvor präparierten Messarealen thermografisch gemessen. Parallel erfolgen die Berechnung der Temperaturverteilung in der gesamten Probe und anschließend ein Abgleich der Temperaturprofile, der den gesuchten Wert des Einkoppelgrads liefert.

Abgleich gemessener und berechneter Temperaturprofile



Die Temperaturkurve aus dem Experiment stimmt exakt mit den simulierten Temperaturprofilen überein. Voraussetzung ist die Vorgabe des realen Einkoppelgrades als Ergebnis der entwickelten Messmethodik.

Winkelabhängiger Absorptionswirkungsgrad von korrosionsbeständigem Stahl für Faserlaserstrahlung



Dass es notwendig ist, den Wirkungsgrad prozessspezifisch zu bestimmen, zeigt diese Darstellung der winkelabhängigen Absorption korrosionsbeständigen Stahls (1.4301). Die realen Werte weichen hier deutlich von theoretisch berechneten Werten ab.

zudem, dass der Wärmeübergang an die Umgebung korrekt berücksichtigt wird. Die Messmethodik qualifiziert sich für einen Einsatz unter realen Prozessbedingungen. Es werden keine Anforderungen an die Messproben erhoben, die im Bearbeitungszustand verwendet werden können. Damit ist auch der Einfluss unterschiedlicher Oberflächenzustände auf die Strahlabsorption in den Messergebnissen berücksichtigt. Die Wissenschaftler validierten das entwickelte Verfahren für verschiedene Anwendungen und lieferten präzise Ergebnisse für Testproben mit bekanntem Einkoppelgrad.

Vielfältige Einsatzfelder

Für die Messmethodik des Fraunhofer IWS und der TU Dresden eröffnen sich vielfältige Einsatzfelder. Sowohl Prozesswirkungsgrade für Lasermaterialbearbeitungsverfahren als auch für konkurrierende thermische Technologien lassen sich ermitteln. Sie unterstützen die Auswahl der jeweils geeigneten Laserstrahlquelle, indem sie den Einfluss der Wellenlänge auf die erzielbare Prozesseffizienz verifizieren. Auch mögliche Effizienzsteigerungen lassen sich für unterschiedliche Prozessvarianten, beispielsweise unter Einsatz dynamischer Modulationsmethoden oder in einer Ausführung als Hybridprozess, bewerten. Im Fokus der Untersuchungen kann zudem die Erfassung der Wärmebelastung von Bauteilen stehen, die sich ebenfalls als direktes Messergebnis ableiten lässt. Nicht zuletzt erhöht die Methodik die Genauigkeit der Vorhersage von Simulationsmethoden, indem sie den Einkoppelgrad an realen Versuchsproben ermittelt. Somit ermöglichen diese Untersuchungen präzisere Ergebnisse thermischer Simulationen.

KONTAKT

M. Sc. Dominik Hipp

Prozessauslegung und -analyse

+49 351 83391-3434

dominik.hipp@iws.fraunhofer.de



MASSGESCHNEIDERTE TECHNOLOGIEN FÜR DEN HOCHRATEABTRAG

Die Bedeutung des Laserstrahlabtragens für die industrielle Umsetzung nimmt stetig zu. Um Abtragraten zu maximieren, werden brillante Hochleistungslaser mit schneller Strahlableitung verknüpft. Die Auswahl der geeigneten Strahlquelle erfolgt anhand der Material-Untergrund-Kombination. Die verwendeten hohen Laserleistungen bewirken gerade bei empfindlichen Materialien besondere Herausforderungen hinsichtlich der Wärmeeinbringung.

Immer häufiger kommt das Laserstrahlabtragen in der Industrie zum Einsatz. Das liegt einerseits an der hohen anwendbaren Strahlquellenintensität und andererseits an der guten Steuerfähigkeit. Das größte Hindernis bei der Umsetzung besteht in der darstellbaren Flächenleistung. Um dieses zu überwinden, verwendet das IWS Laser mit Kilowattleistungen und hoher Brillanz. Dem mit Continuous-wave-Strahlquellen (cw) verbundenen Wärmeeintrag begegnen die Wissenschaftler mit einer schnellen Relativbewegung zwischen Laserstrahl und Werkstück, die zusätzlich die Flächenrate verbessert. Um den Abtrag weiter zu erhöhen, werden die Laserstrahlen applikationsangepasst geformt. Dazu beeinflussen elliptische Laserspots deren Intensität und die Wechselwirkungszeit. Linienförmige Strukturen von etwa 45 Mikrometern Breite und 20 Mikrometern Tiefe lassen sich so mit 2,5 Kilowatt Laserleistung mit Bearbeitungsgeschwindigkeiten von bis zu 60 Metern pro Sekunde in Metallen erzeugen. Anwendung findet dies bei der wärmefesten Strukturierung von Elektrolech für Transformatorenkerne. Noch höhere Spotgeschwindigkeiten wenden die Wissenschaftler bei der Oberflächenvorbereitung für nachfolgende Fügeprozesse an, um beispielsweise beim flächigen Abtrag von Oberflächenoxiden Raten von einem Quadratmeter pro Minute und mehr erreichen zu können. Für diese Aufgaben steht am IWS ein einzigartiger Versuchsstand zur Verfügung, der den Einsatz verschiedener Laserstrahlquellen bei Spotgeschwindigkeiten von bis zu 300 Metern pro Sekunde auf Flächen von einem Meter Breite anwenden kann. Neben dem Materialabtrag eignet sich das System auch für die großflächige

Wärmebehandlung. Eine anpassbare Fokussierung trägt dabei den notwendigen geringeren Laserstrahlintensitäten Rechnung. Für die Entwicklung von Abtragstechnologien stehen neben den Wellenlängen von etwa 1 und 10,6 Mikrometern auch 515 Nanometer sowie ca. 5,6 und 9,3 Mikrometer mit mittleren Leistungen von mehr als einem Kilowatt zur Verfügung. Insbesondere beim Abtrag organischer Schichten sind die Wellenlängen im mittleren Infrarotspektrum interessant. Die erste Auswahl der geeigneten Laserstrahlquelle nehmen die IWS-Ingenieure anhand der eigenen Bestimmung der Absorptionseigenschaften des neuen Schichtsystems vor. Die finale Festlegung erfolgt unter Beachtung der Prozessführung und der verfügbaren Systemtechnik für die vorgesehene Applikation. Dabei betrachten die IWS-Forscher die Technologieentwicklungen umfassend, wählen die geeignete Systemtechnik aus, bewerten diese und konzipieren alle dazugehörigen Bearbeitungsparameter. Auf diese Weise entstehen ganzheitliche Lösungen, die den Anforderungen der Anwendung gerecht werden und durch die abgestimmte Systemtechnik für den Einsatz in der Produktion bereit sind.

KONTAKT

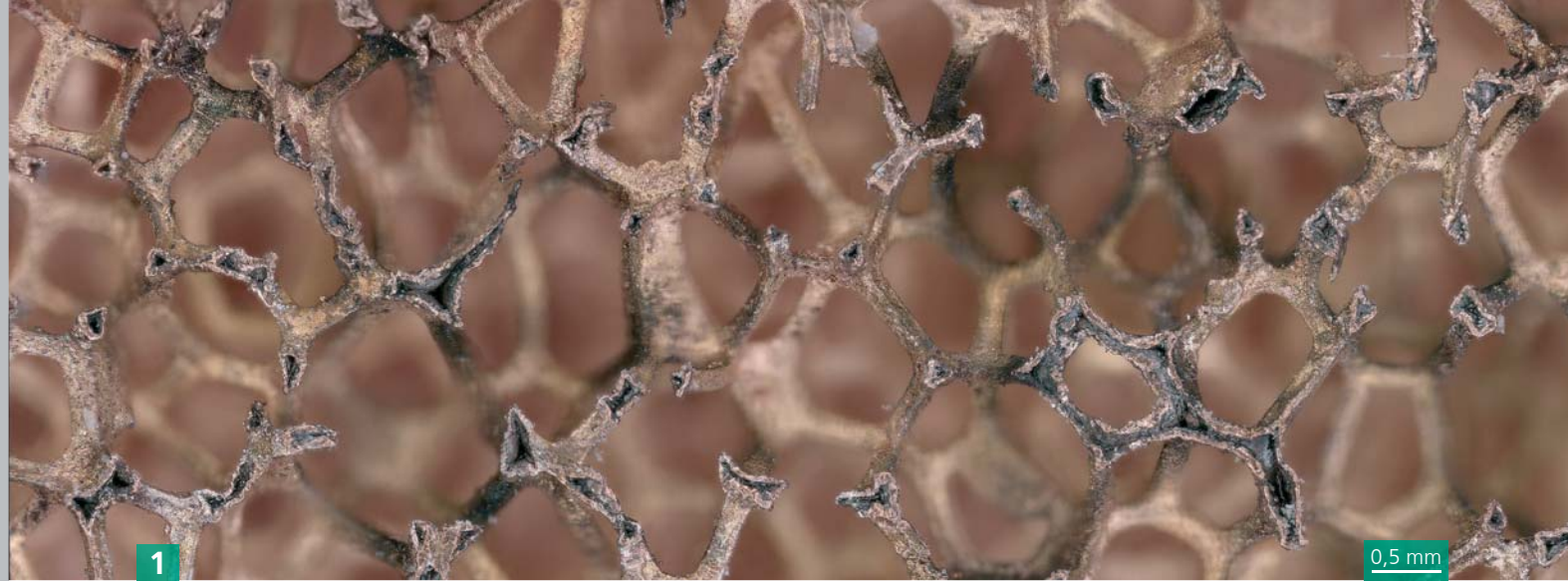
Dr. Jan Hauptmann

High-Speed-Laserbearbeitung

☎ +49 351 83391-3236

✉ jan.hauptmann@iws.fraunhofer.de





PRÄZISES HOCHGESCHWINDIGKEITSLASERSCHNEIDEN VON METALLSCHÄUMEN

Offenzellige Metallschäume bieten die Möglichkeit, Lösungen für kommende Aufgaben in der Energiewende und des Leichtbaues mitzugestalten. Zukünftig werden offenzellige Schäume in verschiedensten Bereichen, wie Wärmetauschern, Batteriesystemen oder medizinischen Implantaten, ihre Anwendung finden. Die Vielzahl an Applikationen erfordert ein anpassbares Schneidverfahren.

Das konturflexible Konfektionieren von Metallschäumen ist ein zentraler Forschungsschwerpunkt am Fraunhofer IWS. Das Remotelaserstrahlschneiden eröffnet dabei die Möglichkeit, offenporige Metallschäume hochpräzise und nahezu kraftfrei zu trennen, ohne unerwünschte thermisch oder mechanisch induzierte Verformungen zu erzeugen. Basis der Schneidtechnik ist der Einsatz hochbrillanter Strahlquellen, die das Material in der Wechselwirkungszone schmelzen und teilweise verdampfen. Der entstehende Verdampfungsdruck des Metalls realisiert den Schmelzaustrieb. Eine zyklische Wiederholung der Schnittkontur erzeugt sukzessiv den Schnittpalt bis zum vollständigen Trennschnitt. Um eine kurze Prozesszeit und somit eine größtmögliche Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten, werden hochdynamische Strahlableitungselemente (Scanner) verwendet. Damit lassen sich Schnittgeschwindigkeiten von bis zu 300 Metern pro Minute erzeugen. Als positiver Nebeneffekt wird der Wärmeeintrag ins Material auf ein Minimum reduziert. Neben dem zweidimensionalen Zuschnitt können ebenfalls Metallschäume mit sehr geringen Dicken erzeugt werden. Dieser Spaltprozess ist notwendig, da das Urformen von Schaumhalbzeugen prozesstechnisch eine minimale Dicke von drei Schaumporen erfordert, um genügend Stabilität beim Herstellungsprozess zu gewährleisten. Durch den Einsatz des Remote-laserstrahlschneidens kann die Dicke von Bauteilen bis auf die strukturelle Festigkeitsgrenze von 0,75 Schaumporen reduziert werden. Anwendungen mit dieser Schaumdicke sind technologisch vorteilhaft, waren aber bisher nicht umsetzbar. Remotelaserstrahlschneiden erlaubt gegenüber der konventionellen

Konfektionierung eine höhere geometrische Genauigkeit. Für die untersuchten Schaummaterialien Kupfer, Nickel, Stahl und Inconel wurden Fertigungsgenauigkeiten von ± 50 Mikrometer bei gleichbleibend hoher Schnittgeschwindigkeit erzielt. Dabei bleibt der offenzellige Charakter der Schnittkanten erhalten. Das Remotelaserstrahlschneiden steht somit als hochpräzises Trennverfahren offenporiger Metallschäume zur Verfügung, um zukünftig die unterschiedlichsten Applikationen zu ermöglichen.

1 *Draufsicht auf die Schnittkante von remotelaser-geschnittenem Kupferschaum; offenzelliger Charakter bleibt bestehen.*

KONTAKT

Dr. Patrick Herwig

Laserschneiden

+49 351 83391-3199

patrick.herwig@iws.fraunhofer.de





KOMPLEXE REMOTELASERPROZESSE EINFACH UMSETZEN

Die Integration von Remotelaserverfahren in Fertigungslinien setzt effiziente und flexible Softwarelösungen voraus, die sich an die prozesstechnischen Anforderungen anpassen. Das am Fraunhofer IWS entwickelte Motion-Control-Framework folgt diesem Ansatz. Herstellerunabhängig bietet es mit diversen Submodulen umfangreiche Möglichkeiten zum Prozessmonitoring, zur Regelung und Automatisierung.

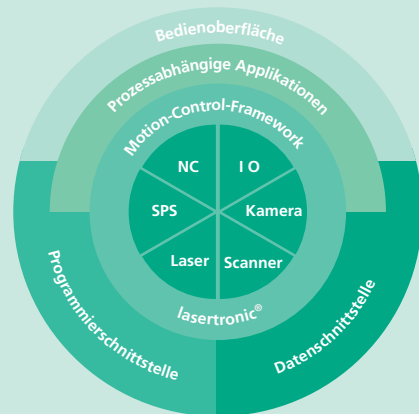
Je individueller die Produktion, desto flexibler müssen die Bearbeitungsprozesse und individuellen Softwarelösungen sein, die sich an den Anforderungen der Kunden orientieren. Vor diesem Hintergrund hat das Fraunhofer IWS das »lasertronic®MotionControl« entwickelt und in den vergangenen Jahren stetig erweitert, um der Vernetzung zwischen Scannern und Maschinensteuerung Rechnung zu tragen. Im Fokus stehen besonders verkettete und automatisierte Prozesse, d.h. Anwendungen, bei denen eine Interaktion zwischen beiden für ein optimiertes Prozessresultat sorgt.

Anpassungsfähige Software

Das Motion-Control-Framework bildet die Basis für eine effiziente, jedoch anpassbare Softwareentwicklung zur Realisierung komplexer Remotelaseranwendungen. Kundenspezifische Anforderungen zur Gestaltung der Benutzeroberfläche berücksichtigt es ebenso wie prozesstechnische Eigenschaften. Komplexe technologische Zusammenhänge kapselt das Framework effizient und stellt sie parametrisierbar der übergeordneten Anwendung zur Verfügung. Das erhöht den Bedienkomfort, reduziert Fehler bei der Prozessführung und vereinfacht die Handhabung. Die Kernkomponente der IWS-Plattform »lasertronic®MotionControl« ist das Modul zur herstellerunabhängigen Ansteuerung der Scanner. Weitere Module dienen der Vernetzung zur Prozesssensorik, der Maschinensteuerung und der Kommunikation mit einer Speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS). Mit seinen langjährigen prozesstechnischen Erfahrungen entwickelt das

IWS kundenspezifische Softwarelösungen für verschiedene Remotelaseranwendungen. Die industriellen Anwendungen umfassen das Laserstrahlschweißen, die Laserreinigung sowie das Abtragen und -trennen metallischer und nichtmetallischer Werkstoffe.

Das Motion-Control-Framework



Das Motion-Control-Framework bietet herstellerunabhängig umfangreiche Möglichkeiten zum Prozessmonitoring, zur -regelung und Automatisierung.

1 Applikationsbeispiel, abgeleitet vom Motion-Control-Framework.

KONTAKT

Dipl.-Ing. Peter Rauscher

Lasersystemtechnik

+49 351 83391-3012

peter.rauscher@iws.fraunhofer.de





1

ADAPTIVE SPIEGEL ALS HOCHDYNAMISCHE Z-ACHSE ZUM LASERSTRAHLSCHNEIDEN

Die Wechselwirkungsfläche zwischen Laserstrahl und Material ist beim Laserstrahlschneiden entscheidend. Eine hochdynamische Strahlformung in der X- und Y-Ebene hebt deren Limitierung auf und erzielt damit positive Ergebnisse. Im Falle großer Materialdicken besteht Bedarf, die hochdynamische Strahlformung in die Z-Ebene auszuweiten.

Das Laserstrahlschmelzschnitten ist ein Wärmeleitungsprozess, der einen Energieeintrag über die gesamte Schneidfront erfordert. Theorie und Praxis zeigen, dass die Tiefenschärfe möglichst der Blechdicke entsprechen soll, um eine optimale Prozessperformanz zu erzielen. Jedoch lässt sich die Tiefenschärfe nicht beliebig steigern, da sie mit einer Vergrößerung des Fokusedurchmessers einhergeht, der ebenfalls zu den relevanten Prozessparametern gehört. Im Dickblechschnitten ist die Tiefenschärfe des Schneidwerkzeugs deutlich geringer als die zu trennende Blechdicke, womit zum einen die schneidbare Materialdicke begrenzt ist und sich zum anderen die Schnittkantenqualität deutlich verringert. Motorische Z-Achsen sind Standardelemente eines Laserschneidkopfs, werden aber üblicherweise zur Anpassung der Fokusslage auf das Material und die Dicke sowie für den Einstichprozess genutzt. Ihre Dynamik eignet sich nicht für den angestrebten Anwendungsfall. Daher entwickelte ein Konsortium aus Vertretern der Wissenschaft und Wirtschaft im Rahmen des Zwanzig20-Projekts PISTOL³ eine Z-Achse, die Hübe von mehr als zehn Millimetern auf Kilohertzebene erreicht. Dies ermöglicht das sogenannte Lasersägen. Ähnlich einer Stichsäge wird so die Schneidperformanz gesteigert. Das erhöht die wirkungsvolle Tiefenschärfe über eine Schwingperiode deutlich. Das Frequenzspektrum entspricht dem in mehrjähriger Forschungsarbeit von IWS-Forschern bestimmten Optimum der hochdynamischen Strahlformung zum Laserstrahlschneiden, um die Wärmeleitung und Schneidperformanz positiv zu beeinflussen. Die Funktionalität der vom Projektpartner Fraunhofer IOF entwickelten Z-Achse wurde bereits mit hoher Laserleistungsstabilität

getestet. Aktuell führen die Wissenschaftler eine umfangreiche Prozessstudie durch, um das Verbesserungspotenzial hinsichtlich Schnittkantenqualität, Schneidgeschwindigkeit, der maximal schneidbaren Materialdicke oder auch des Gasverbrauchs aufzuzeigen. Neben den Tätigkeiten zum Laserstrahlschneiden erfolgen ebenfalls Prozessuntersuchungen zum Laserstrahlschweißen und -strukturieren in diesem Projekt. Somit wird Fraunhofer in naher Zukunft Konzepte und Prozesse mit hochdynamischer dreidimensionaler Strahlformung anbieten, die eine Steigerung der Prozessperformanz auf dem gesamten Gebiet der Lasermaterialbearbeitung ermöglichen.

- 1 Die Partner des Projekts PISTOL³ entwickelten adaptive Spiegel, um die Fokusslage für die Lasermaterialbearbeitung hochdynamisch zu modulieren.

Gefördert vom



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

FKZ: 03ZZ1028E

KONTAKT

Dr. Patrick Herwig

Laserschneiden

+49 351 83391-3199

patrick.herwig@iws.fraunhofer.de



MIKROTECHNIK



Geschäftsfeldleiter **Dr. Udo Klotzbach**

DAS GESCHÄFTSFELD

Auf Lasertechnik unter der Lupe hat sich das Geschäftsfeld Mikrotechnik spezialisiert. Die Wissenschaftler erforschen und entwickeln Oberflächen mit Funktionalitäten, die Lotusblättern oder der Haut von Haifischen ähneln. Denn die fortschreitende Miniaturisierung in Elektronik, Halbleiterfertigung und Biomedizintechnik erfordert immer kleinere und präzisere Strukturen für die unterschiedlichsten Substrate. Dies ermöglicht das Fraunhofer IWS mit der Technologie des Lasermikrobearbeitens. Das Angebot des Geschäftsfelds Mikrotechnik richtet sich an produktorientierte Anwender, die tiefgreifendes systemisches Wissen über den Werkstoff und die dafür notwendigen Laserparameter benötigen, um hochspezielle Fragestellungen zu beantworten. Dafür bietet das Geschäftsfeld etwa das Laserinterferenzstrukturieren, das erst durch die Arbeit der Wissenschaftler des Fraunhofer IWS Industriereife erfahren hat. Eine Vorreiterrolle übernimmt die Mikrotechnik beim Thema »Embedded Systems« und beim maschinellen Lernen: Akustische und visuelle Daten zu sammeln, auszuwerten und hinsichtlich der Prozessgeschwindigkeit zu optimieren – davon soll zukünftig der Anwender profitieren.

**Gruppenleiter
Mikromaterialbearbeitung**



Dipl.-Ing. Volker Franke

☎ +49 351 83391-3254

✉ volker.franke@iws.fraunhofer.de

**Gruppenleiter
Mikro- und Biosystemtechnik**



Dr. Frank Sonntag

☎ +49 351 83391-3259

✉ frank.sonntag@iws.fraunhofer.de

**Gruppenleiter
Oberflächenfunktionalisierung**



Dr. Tim Kunze

☎ +49 351 83391-3661

✉ tim.kunze@iws.fraunhofer.de

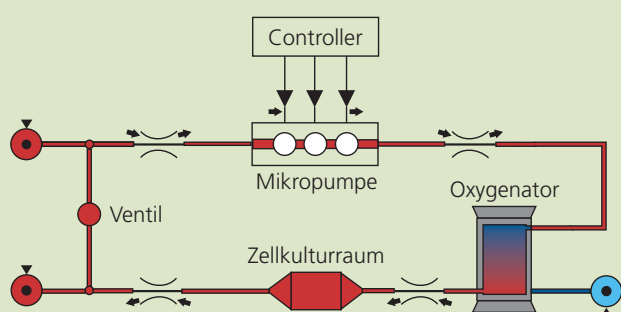
MIKROSYSTEME FÜR KÜNSTLICHE NIEREN-MODELLE

Humane organotypische Gewebekulturen der Niere sind der Schlüssel zu einem besseren Verständnis der zellulären Prozesse in der Niere und ein wichtiges Werkzeug in der medizinischen Forschung. Die technische Umgebung solcher Gewebekulturen bilden mikrophysiologische Systeme, die am Fraunhofer IWS entwickelt werden. Damit lassen sich Nierenerkrankungen und die Nebenwirkungen von Medikamenten erforschen.

Dreidimensionale, organotypische Gewebekulturen bilden Organ- und Zellfunktionen bedeutend besser ab als klassische, zweidimensionale Zellkulturmodelle. Damit eignen sie sich ideal als Modellsysteme für die medizinische Grundlagenforschung und zur Untersuchung pharmazeutischer Wechselwirkungen. Künstlichen Nierensystemen kommt dabei eine besondere Rolle zu, da sie die natürlichen Ausscheidungsprozesse abbilden können, die bei der Wirkung aller Medikamente eine entscheidende Rolle spielen. In der Niere wird diese Ausscheidung durch zwei wesentliche Prozesse gesteuert. Am Beginn der Ausscheidung

steht die Filtration über eine zelluläre Barriere im Nieren-glomerulus. Dabei passieren lösliche Stoffe die Filtrationsmembran, während Blutzellen zurückgehalten werden. Im sich anschließenden tubulären Strang der Niere werden lebenswichtige Stoffe mittels spezieller zellulärer Transporter wieder in das Blut transportiert, was als Resorption bezeichnet wird. Beschädigen toxische Substanzen diese zellulären Transporter, führt dies zum Nierenversagen. Das am Fraunhofer IWS entwickelte mikrophysiologische System ermöglicht es, diese Prozesse nachzustellen und zu untersuchen.

Netzwerksimulation des mikrophysiologischen Nierensystems



Anhand der Netzwerksimulation des fluidischen Kreislaufs lässt sich die Strömung im mikrophysiologischen Modell der Niere beschreiben. Dafür wird das mikrophysiologische System in funktionale Einheiten, wie die integrierte Pumpe, die Zellkulturkammer und weitere Elemente, aufgeteilt. Diese werden anschließend über Differenzialgleichungen beschrieben und in der Simulation miteinander verknüpft. So entsteht ein Gesamtmodell des mikrophysiologischen Systems, mit dem sich Drücke, Strömungsgeschwindigkeiten und weitere physikalische Systemparameter ermitteln lassen.

Was mikrophysiologische Nierenmodelle ausmachen

Grundlage für die Nachahmung der Nierenfunktion ist die künstliche Abbildung der Filtrations- und Resorptionsprozesse. Dabei stellen zellbasierte Barrieremodelle auf einer künstlichen Membran die Transportprozesse der Filtration und Resorption entsprechend nach. Außerdem müssen die physiologischen Umgebungsbedingungen der zellulären Barrieren nierenspezifisch eingestellt werden. Das bedeutet, dass Temperatur, Druck, Membrandehnung und die Konzentration zu filtrierender Stoffe im mikrophysiologischen System den Bedingungen in der Niere nachempfunden sind.



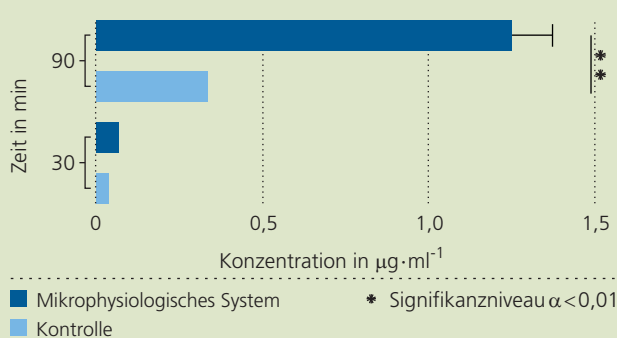
1

Wie mikrophysiologische Systeme das Nierenmodell verbessern

Die zellbasierten Modelle der Nierenbarrieren werden in künstlichen Zellträgern kultiviert, die auch als Transwell®-Inserts bezeichnet werden. Dazu wird die poröse Stützmembran des Zellträgers in mehreren Schichten mit menschlichen Zellen besiedelt. Nach etwa acht Tagen in Zellkultur bilden die Zellen eine geschlossene Schicht und die Nierenbarriere erfüllt ihre grundlegende Funktion. Transportprozesse lassen sich jedoch erst durch die Integration des Zellträgers in das nierenspezifische mikrophysiologische System des Fraunhofer IWS untersuchen. Die Wissenschaftler des Dresdner Instituts stellen die Druck- und Strömungsverhältnisse für den nachgebildeten Nierenabschnitt ein und ermöglichen den Zellen, ihre organspezifische Funktion zu erfüllen. Die im mikrophysiologischen System integrierte Mikropumpe fördert das blutähnliche Zellkulturmedium durch das mikrophysiologische System. Wie das menschliche Herz verfügt sie über eine Kammer und Klappen in Form von Ventilen. Betrieben wird dieses kleine »Herz auf dem Chip« über einen am Fraunhofer IWS entwickelten Controller, der Kammer und Ventile getaktet

schaltet. Um die Strömung in den Nierenkapillaren nachzuahmen, lässt sich mittels modifizierter Ansteuerung der Pumpe eine leicht pulsatile Strömung bei einem Druck von rund fünf Millibar einstellen. Die Basis für diese Modifikationen bildet die Simulation des mikrophysiologischen Systems über ein Netzwerkmodell. Damit können Druck und Strömungsprozesse vorab berechnet und damit die Anzahl aufwändiger Zellkulturexperimente reduziert werden. Eine entscheidende Rolle spielt die Nachahmung der Nierenkapillaren beim Abbilden der Resorptionsprozesse im mikrophysiologischen Modell des proximalen Nierentubulus. Wie im menschlichen Körper resorbieren auch darin zelluläre Transporter Glukose aus dem tubulären Raum zurück in das Blutgefäß. Die Transportgeschwindigkeit visualisiert das Modell anhand fluoreszenzgefärbter Glukose. Deren Transportrate ist im Vergleich zum statischen Nierenmodell im mikrophysiologischen System höher, entspricht der Geschwindigkeit in der menschlichen Niere und resultiert aus der Strömung in der künstlichen Kapillare. Neben der Resorption lassen sich auch krankhafte Bedingungen anderer Organe, wie etwa Bluthochdruck, nachstellen. Das hilft Forschern, die Wechselwirkungen zwischen den Filtrationsprozessen der Niere und dem Herzkreislaufsystem zu verstehen.

Aktiver Glukosetransport über die künstliche tubuläre Nierenbarriere



Vergleichsmessung der Konzentration des fluoreszierenden Glukoseanalogons 2-NBDG auf der kapillaren Seite des Tubulusmodells. Nach 90 Minuten ist ein deutlicher Konzentrationsunterschied zwischen mikrophysiologischem System und statischer Kontrolle zu beobachten. Wie in der Niere wird der Transport durch die kapillare Strömung und die Anzahl der aktiven Glukosetransporter beschleunigt.

1 Das mikrophysiologische System des IWS stellt die Transportvorgänge am Nierentubulus nach.

Teile dieser Arbeiten wurden durch das IGF-Vorhaben 19175 BR/1 der Forschungsvereinigung DECHEMA e.V. über die AIF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert.

Gefördert vom



KONTAKT

Dipl.-Ing. Florian Schmieder

Mikro- und Biosystemtechnik

+49 351 83391-3520

florian.schmieder@iws.fraunhofer.de





LEICHT WIE KUNSTSTOFF, STARK WIE METALL

Der Leichtbau hält Einzug in unseren Alltag. Autos, Flugzeuge und Sportequipment verlieren stets an Gewicht. Häufig müssen leichte Bauteile aber die Eigenschaften schwerer, konventioneller Materialien aufweisen, wie etwa Umweltbeständigkeit und Verschleißfestigkeit. Für diesen Spagat sind neue Prozessentwicklungen und -strategien notwendig, wie das Funktionalisieren faserverstärkter Kunststoffe mit metallischen Eigenschaften.

Der konstruktive Leichtbau erzielt mit neuen Materialien und prozesstechnischen Neuentwicklungen Gewichtseinsparungen, die im Einsatz bewegter Massen zu verminderten Emissionen führen. Dafür werden häufig schwere Metallkomponenten durch leichteren Faser-Kunststoff-Verbund (FKV) ersetzt. Nichtsdestotrotz lässt sich Metall nicht komplett ersetzen, z. B. wenn Abriebfestigkeit oder spezielle Gleiteigenschaften gefordert sind. Forscher am Fraunhofer IWS haben Lösungen erarbeitet, mit denen sie typische metallische Funktionen in kunststoffbasierte Bauteile einbringen können – ohne Fügeverbindungen und lokal begrenzt. Bei der zuverlässigen Verbindung metallischer Spritzschichten auf kunststoffbasierten Substraten ist die Oberflächenbeschaffenheit des zu beschichtenden Bauteils essenziell. Je rauer die Oberfläche ist, desto mehr Verankerungspunkte bietet sie den metallischen oder keramischen Partikeln im nachfolgenden Beschichtungsprozess. Etablierte Oberflächenvorbehandlungsmethoden aus der Metallverarbeitung, wie das Sandstrahlen, lassen sich nur bedingt für faserverstärkte Kunststoffe anwenden. Die hohe Aufprallenergie der Teilchen raut die Oberfläche an, beschädigt aber zugleich oberflächennahe Fasern. Im Beschichtungsprozess führen diese Fehlstellen zu Lufteinschlüssen und während des Einsatzes zum Versagen des Bauteils.

Individualisierbare Lösungen für unterschiedlichste Anforderungen

Das Entfernen der Kunststoffmatrix mit gepulster Laserstrahlung legt die Fasern schonend frei, sodass Verankerungsmöglichkeiten für die Spritzpartikel entstehen. Die Tropfen des

Beschichtungsmaterials legen sich um die lasttragenden Fasern. Der dabei entstehende Formschluss sorgt für optimales Anhaften der Schicht. Die Beschichtung von FKV-Bauteilen eröffnet zahlreiche Möglichkeiten der Funktionalisierung. Maßgeschneiderte Eigenschaften lassen sich in das FKV-Bauteil direkt integrieren. Verschleißschutz für Gleitlager über Temperaturisolierung bis hin zur Heizfunktion, zum Beispiel für Batteriegehäuse, werden umsetzbar. Die Lasermaterialbearbeitung mit anschließender Beschichtung basiert auf etablierten und wirtschaftlich attraktiven Teilprozessen. Die Kombination von Laser und thermischem Spritzen ermöglicht es, verschiedenste Bauteile mit unterschiedlichen Funktionalitäten ohne weitere Werkzeuge oder Maskierungen zu fertigen. So lassen sich z. B. eng begrenzte Funktionsflächen gezielt freilegen. Aufgrund des lokalen Anrauens durch den Laser haftet das Beschichtungsmaterial ausschließlich in der vorbehandelten Zone. Das Fraunhofer IWS entwickelte somit einen hochflexiblen Prozess, mit dem sich unterschiedlichste Funktionen passgenau in das jeweilige Substrat integrieren lassen.

1 Funktionalisierung von Faser-Kunststoff-Verbunden durch Beschichten laserstrukturierter Oberflächen.

KONTAKT

M. Sc. Jana Gebauer

Mikromaterialbearbeiten

☎ +49 351 83391-3436

✉ jana.gebauer@iws.fraunhofer.de

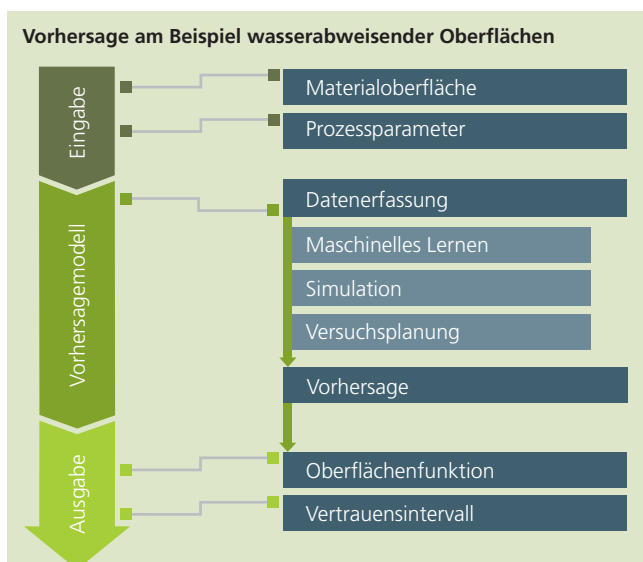


OPTIMIERTE OBERFLÄCHEN DURCH MASCHINELLES LERNEN

Die Natur gilt für technische Oberflächen als perfektes Vorbild: Neben dem Lotusblatt für wasserabweisende Oberflächen sowie der Haifischhaut zur Verringerung des Strömungswiderstands gibt es weitere Beispiele, in denen optimierte Oberflächen einen positiven Effekt aufweisen. Das Fraunhofer IWS liefert hierfür Modelle basierend auf künstlicher Intelligenz, die Oberflächenfunktionalitäten gezielt vorherzusagen.

Schon heute können Oberflächeneigenschaften mit Laserstrukturierung gezielt gesteuert werden, sodass Oberflächen dank hydrophober Wirkung leichter zu reinigen sind, Implantate besser vom Körper akzeptiert werden oder Motoren effizienter laufen können. Damit die passenden Oberflächenstrukturen zum Einsatz kommen können, werden zunehmend statistische

Methoden und Modelle des maschinellen Lernens verwendet. Dies erlaubt eine Vorhersage der resultierenden Funktionen vor dem eigentlichen Strukturierungsprozess. Der synergetische Ansatz aus wissenschaftlichem Know-how, Simulation und experimenteller Datenmodellierung ermöglicht es, spezifische Oberflächenfunktionen vorherzusagen. Das Fraunhofer IWS verwendet verschiedene Algorithmen des maschinellen Lernens sowie weiterführende Deep-Learning-Ansätze insbesondere für noch unbekannte Materialien, um Korrelationen zwischen Struktur und Oberflächenfunktion zu identifizieren. Auf diese Weise lassen sich in immer kürzerer Zeit erste Abschätzungen der finalen Oberflächenfunktion treffen, sodass sich der Entwicklungsaufwand von Oberflächenstrukturen stark verringert. Innerhalb des Horizon 2020 Projekts »SHARK« entwickelt das IWS als zentraler Konsortiumspartner Vorhersagemodelle für den zukünftigen Produktionsprozess. Auf diese Weise tragen die Dresdner Forscher dazu bei, dass die Funktion der Oberfläche ein einfach auszuwählender Parameter wird.



Die Eigenschaften laserstrukturierter Oberflächen können mit Hilfe von Vorhersagemodellen bestimmt werden. Dazu werden zunehmend empirische und numerische Verfahren auf Basis des maschinellen Lernens eingesetzt. In der Folge können beispielsweise selbstreinigende Oberflächen effizienter realisiert werden. Nach Eingabe der benötigten Parameter werden empirische (maschinelles Lernen) und analytische (Simulation) Modelle sowie bekanntes Wissen aus Experimenten (Versuchsplanung) für die Vorhersage genutzt.



Dieses Projekt wurde im Rahmen der Finanzhilfvereinbarung Nr. 768701 aus dem Forschungs- und Innovationsprogramm Horizon 2020 der Europäischen Union finanziert.

KONTAKT

Dipl.-Ing. Tobias Steege

Oberflächenfunktionalisierung

+49 351 83391-3521

tobias.steege@iws.fraunhofer.de



WERKSTOFFCHARAKTERISIERUNG UND -PRÜFUNG



Kompetenzfeldleiterin **Prof. Dr. Martina Zimmermann**

DAS KOMPETENZFELD

Kontrolliert zerstören, was andere aufgebaut haben: Die Werkstoff- und Bauteilprüfung nimmt das Materialinnere in den Blick und geht selbst dem kleinsten Detail auf den Grund. Auf diese Weise beurteilen die Wissenschaftler die Werkstoff- und Bauteilqualität und liefern Hinweise darüber, an welchen Stellen sich Herstellungs- und Bearbeitungsprozesse optimieren lassen. Ein umfassendes Werkstoffwissen, langjährige methodische Erfahrungen und eine umfangreiche Geräteausstattung bilden die Basis für die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Zum Leistungsspektrum gehören die metallographische Charakterisierung und die elektronenmikroskopische Analyse von Werkstoffen und deren Verbunden, von der Makro- bis zur Nanoskala. Es werden Kennwerte ermittelt und Strategien abgeleitet, um Bauteile werkstoff- und beanspruchungsgerecht auslegen zu können. Für die Neu- und Weiterentwicklungen von Fertigungstechnologien übernehmen die Wissenschaftler die Eignungsbewertung, Werkstoffauswahl und Bauteiloptimierung. Darüber hinaus werden Prüfverfahren entwickelt, bewertet oder angepasst. Versagens- und Schadensanalysen runden das Portfolio ab.

**Gruppenleiter
Werkstoff- und Schadensanalytik**



Dr. Jörg Kaspar

☎ +49 351 83391-3216

✉ joerg.kaspar@iws.fraunhofer.de

**Gruppenleiterin
Werkstoff- und Bauteilprüfung**



Prof. Dr. Martina Zimmermann

☎ +49 351 83391-3573

✉ martina.zimmermann@iws.fraunhofer.de

HOCHGESCHWINDIGKEITSERMÜDUNG: BAUTEILPRÜFUNG BEI 1000 HERTZ

Technische Bauteile unterliegen oft wiederkehrenden mechanischen Beanspruchungen. Die Auslegung gegenüber diesen äußeren Lasten erfolgt für gewöhnlich in sogenannten Dauerschwingversuchen, die sowohl zeit- als auch kostenintensiv sein können. Diesem Trend begegnet das Fraunhofer IWS mit einer modernen Hochfrequenzprüftechnologie, die es ermöglicht, die Schwingfestigkeit stark beschleunigt zu ermitteln.

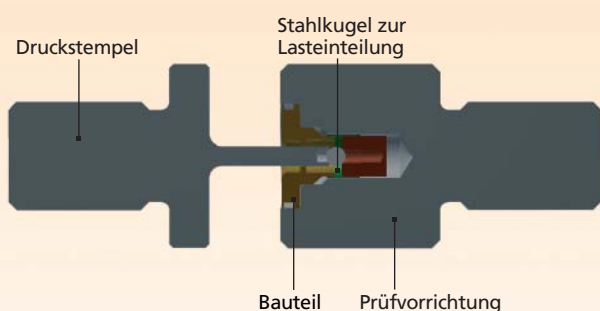
Berechnung oder Versuch? Selten wird diese Frage so intensiv diskutiert, wie bei der schwingfesten Auslegung von Bauteilen. Mehrere anerkannte Auslegungsrichtlinien geben Empfehlungen, mit denen sich die Schwingfestigkeit von technischen Bauteilen rechnerisch abschätzen lässt. Aufgrund ihres allgemeingültigen Charakters sind diese Ansätze bei einem intensiven Leichtbauanspruch der späteren Anwendung recht konservativ bis ungenügend. In diesen Fällen kommt der experimentellen Festigkeitsprüfung auch weiterhin eine große Bedeutung zu. Die angestrebten Ziele sind stets eine möglichst kurze Prüfzeit und geringe Versuchskosten bei einer gleichzeitig zuverlässigen experimentellen Datenbasis. Die moderne Hochfrequenz-Prüftechnik des Fraunhofer IWS bietet in dieser Hinsicht deutliche Vorteile gegenüber der konventionellen

Versuchstechnik. Bei einer Prüffrequenz von 1000 Hertz lassen sich sowohl Werkstoffproben als auch kompakte Bauteile ermüden, wodurch sich enorme zeitliche und damit wirtschaftliche Einsparungen ergeben. Am Beispiel eines lasergeschweißten Bauteils aus einem Pkw-Einspritzsystem zeigten die Wissenschaftler des IWS, wie wichtig die experimentelle Absicherung bis zu sehr hohen Schwingspielzahlen (Very-High-Cycle-Fatigue, kurz: VHCF) ist und wie deutlich die tatsächliche Ermüdungsfestigkeit eines Bauteils von der rechnerischen Abschätzung abweichen kann.

Vorbereitung der Bauteilprüfung

Im Rahmen eines gemeinsamen Projekts mit der Robert Bosch GmbH setzte das Fraunhofer IWS den neuartigen 1000-Hertz-Resonanzprüfstand bereits zur entwicklungsbegleitenden Schwingfestigkeitsabsicherung eines laserstrahlgeschweißten Serienbauteils ein. Dieses Bauteil besteht aus drei Einzelkomponenten, die über zwei Laserstrahlschweißnähte miteinander verbunden sind. Im späteren Einsatzfall unterliegt es einer hochfrequenten zyklischen Belastung und zählt zu den zentralen Funktionselementen im Pkw-Einspritzsystem. Der beschriebene Einsatz erfordert eine »quasi-dauerfeste« Auslegung, wonach das Bauteil den mechanischen Belastungen über die gesamte Betriebszeit standhalten muss. In Anbetracht der geplanten Lebensdauer eines Automobils von circa 15 Jahren können weit mehr Belastungszyklen ($N \geq 10^9$) auf das Bauteil einwirken, als im Rahmen der »klassischen« Dauerfestigkeitsbetrachtung üblich sind. Vor dem Start der Ermüdungsversuche hatten

Schematische Darstellung der Bauteilbelastung im Prüfstand



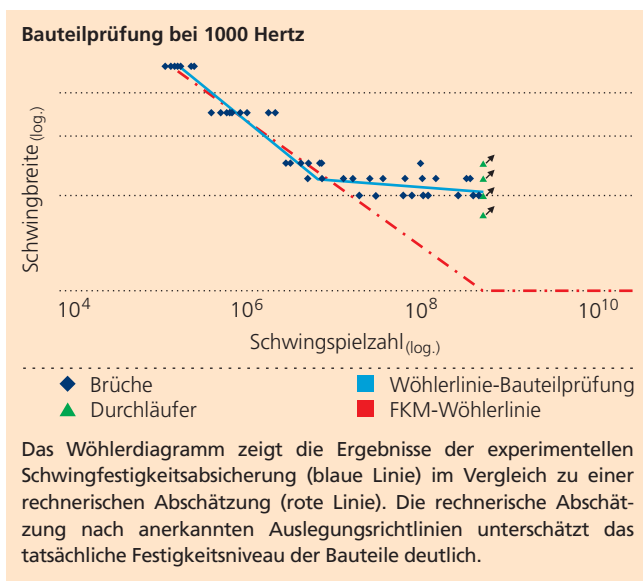
Die geometrische Gestaltung der Prüfvorrichtung definiert die Position und Lage des Prüflings eindeutig und schließt somit Ungenauigkeiten beim Einbau des Bauteils systematisch aus.



1



2



Wissenschaftler am Fraunhofer IWS eine geeignete Prüfvorrichtung entwickelt. Diese bildete die tatsächliche Belastungssituation im Einsatzfall nach. Im Fokus stand eine möglichst einfache und robuste Gestaltung des Prüfaufbaus. Konstruktive Positionierungshilfen definieren die Lage und Ausrichtung des Bauteils in der Vorrichtung. Potenzielle Ungenauigkeiten beim Einbau in den Prüfstand lassen sich somit systematisch ausschließen. Eine zentrierte Stahlkugel leitet die Kraft in das Bauteil ein. Dadurch stellen die Ingenieure eine axiale und zwangskraftfreie Lasteinleitung sicher. Möglich wird so auch der problemlose Austausch der Stahlkugel bei einem unzulässigen Verschleiß. Anschließend wurde dieser neu entwickelte Prüfaufbau durch Messungen des Eigenschwingverhaltens verifiziert. Zu diesem Zweck führten die Wissenschaftler einen sogenannten statisch-dynamischen Abgleich durch, in dessen Verlauf sie die tatsächliche Belastungssituation im Prüfstand ermitteln konnten.

1000-Hertz-Bauteilermüdung: Vorteile und Möglichkeiten

Nach der erfolgreichen Verifizierung kam das Prüfsystem für die Durchführung der Bauteilprüfung zum Einsatz. Die zu prüfenden Bauteile unterschieden sich hinsichtlich Schweißprozessfüh-

rung, Schweißnahtlage und Bearbeitungsverfahren. Die am Fraunhofer IWS eingesetzte Hochfrequenz-Ermüdungsprüftechnik ermöglichte es, die umfangreichen Parameterstudien in der vorgegebenen Projektlaufzeit zu erreichen. Innerhalb von drei Monaten wurden insgesamt rund 100 Bauteile auf definierten Belastungshorizonten bis zu einer Grenzschwingspielzahl von 10^8 Zyklen geprüft. Mit einer konventionellen Prüftechnik hätte dieser Umfang etwa 500 Tage in Anspruch genommen und sich somit keinesfalls in der vorgegebenen Projektlaufzeit erreichen lassen. Die Vielzahl der Bauteilausfälle bei mehr als 10^7 Lastwechseln verdeutlicht, wie wichtig die experimentelle Betrachtung sehr hoher Zyklenzahlen selbst für inhomogene und gefügte Bauteile ist. Das tatsächliche Festigkeitspotenzial bei diesen hohen Schwingspielzahlen liegt deutlich über dem qualitativ abgeschätzten Festigkeitsniveau nach gängigen Auslegungsrichtlinien des Forschungskuratoriums Maschinenbau FKM beziehungsweise des International Institute of Welding. Die Versuchsergebnisse zeigen deutlich, dass eine ideale Auslegung im Hinblick auf Leichtbau und Ressourcenschonung nur dann möglich ist, wenn die tatsächliche Belastbarkeit eines Bauteils bekannt ist. Mithilfe der neuartigen Prüftechnologie wird die VHCF-Absicherung auch unter Beachtung der wirtschaftlichen Aspekte im industriellen Umfeld möglich.

- 1 Der Prüfaufbau zur stark zeitverkürzten Ermüdungsprüfung des Bauteils auf einem 1000-Hz-Resonanzprüfstand erlaubt eine anwendungsnahe Belastung des Bauteils.
- 2 Als zentrales Funktionselement im Pkw-Einspritzsystem ist das laserstrahlgeschweißte Bauteil »dauerfest« gegenüber seinen Betriebsbelastungen auszulegen.

KONTAKT

Dipl.-Ing. Robert Kühne

Werkstoff- und Bauteilprüfung

+49 351 83391-3156

robert.kuehne@iws.fraunhofer.de

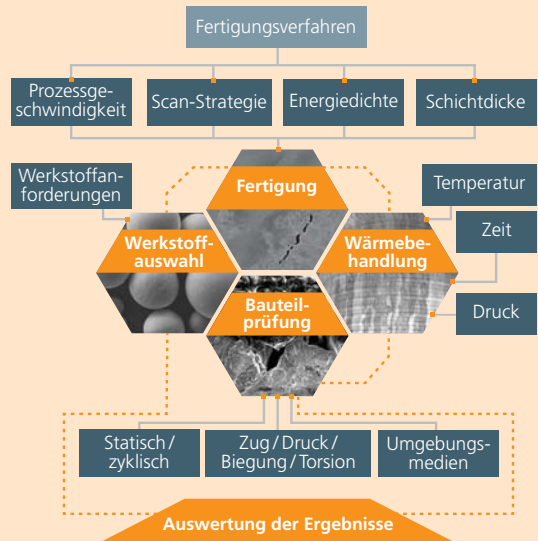


DER DIGITALE ZWILLING: AUF ECHTHEIT GEPRÜFT

Im Zuge der Digitalisierung gewinnt die Abschätzung von Werkstoffeigenschaften durch simulationsgestützte Vorhersagemodelle immer mehr an Bedeutung. Moderne Leichtbaustrategien erfordern gleichzeitig eine hohe Vorhersagegenauigkeit von Materialeigenschaften. Diesem vermeintlichen Zwiespalt begegnet das Fraunhofer IWS mit neuen Ansätzen bei der experimentellen Validierung.

Die Digitalisierung hält Einzug in alle Branchen und Phasen des Produktlebenszyklus. Sie stellt damit einen entscheidenden Motor zur Sicherung der Wettbewerbsposition und der Wertschöpfungskette in der deutschen Industrie dar. Das IWS verfügt über umfassende Erfahrungen und Technologien zur experimentellen Validierung von Zusammenhängen zwischen Prozessen und Werkstoff- beziehungsweise Bauteileigenschaften. Gezielte experimentelle Analysen ermöglichen die Identifikation von Auswirkungen verschiedener Fertigungsprozesse auf die Werkstoffstruktur und der resultierenden Produktzuverlässigkeit im Hinblick auf Festigkeit, Funktionalität, Gestalt und optische Eigenschaften. Bestrebungen zur Umsetzung von »Industrie 4.0« und der digitalen Transformation zielen darauf ab, ganze Prozessketten so zu planen und umzusetzen, dass sie dem »First-time-right-Anspruch« gerecht werden. Es gilt jedoch, eine Vielzahl an Einflussfaktoren bei der Abbildung der Prozesse zu berücksichtigen. Dies lässt sich am Beispiel der additiven Fertigung veranschaulichen. Metallographische und elektronenmikroskopische Methoden zur Analyse der Werkstoffstruktur und deren Veränderung durch einen Fertigungsprozess werden durch eine zunehmend automatisierte Auswertung im Sinne von High-Throughput-Experimenten weiterentwickelt. Auch die Anwendung der Hochfrequenzermüdungsprüftechnik dient dem Ziel, den zeitlichen Aufwand zu reduzieren, um den Einfluss von Prozessen auf die mechanischen Eigenschaften eines Bauteils zu validieren. Aktuell entsteht am IWS eine umfassende Datenbasis zu Prozess-Struktur-Eigenschaftskorrelationen, die den Weg zum »Reverse Engineering« bereitet.

Einflussfaktoren auf die Eigenschaften additiv gefertigter Strukturen



Die Darstellung gibt einen Überblick über mögliche Einflussfaktoren auf die Mikrostrukturentwicklung und die Eigenschaften additiv gefertigter Bauteile, die bei der experimentellen Validierung eines digitalen Zwillings berücksichtigt werden müssen. Dies erfordert den Einsatz verschiedenster Analyse- und Prüfmethode, die am Fraunhofer IWS auf die besonderen Bedürfnisse immer kürzerer Produktentwicklungszeiten angepasst werden.

KONTAKT

Prof. Dr. Martina Zimmermann
Werkstoff- und Bauteilprüfung

+49 351 83391-3573

martina.zimmermann@iws.fraunhofer.de





1



2

NEUE HOCHLEISTUNGSMETALLE FÜR DIE ADDITIVE FERTIGUNG

Hochentropielegierungen sind neuartige metallische Werkstoffe, die von konventionellen Werkstoffen bisher nicht erreichbare Eigenschaftskombinationen ermöglichen. Sie können zum Beispiel sehr fest und gleichzeitig gut verformbar sein und weisen insbesondere bei hohen Einsatztemperaturen hohes Anwendungspotenzial auf.

Das Mischen von mindestens fünf Hauptelementen in gleicher oder zumindest ähnlicher Zusammensetzung ergibt eine Hochentropielegierung. Dies unterscheidet sie grundsätzlich von klassischen Legierungen, bei denen ein Basiselement wie etwa Eisen durch Zugabe von Legierungselementen in vergleichsweise geringen Mengen in seinen Eigenschaften maßgeschneidert wird. Aus dem Hochentropieansatz resultieren einfache, möglichst einphasige Gitterstrukturen mit guter Verformbarkeit, außergewöhnliche Festigkeiten durch Mischkristallhärtung und temperaturstabile Gefügestände. Bisher werden Hochentropielegierungen nur in Kleinstmengen im Labormaßstab hergestellt. Dabei gestaltet sich die Materialsynthese komplex und es sind relativ hohe Materialkosten zu erwarten. Diese Hemmnisse prädestinieren Verfahren der additiven Fertigung zur Synthese von Hochentropielegierungen. Durch den Einsatz additiver Fertigungsverfahren lässt sich außerdem ein breiteres Anwendungsspektrum abdecken und das Potenzial der Legierungssysteme besser nutzen als bei konventionellen Herstellungsroutinen. Eine noch größere Innovation soll die Herstellung funktionsintegrierter Bauteile erzielen. Um neue Werkstoffsysteme mit hoher Anwendungsrelevanz zu identifizieren, wurden am Fraunhofer IWS Verfahren und Methoden zum sogenannten High-Throughput-Screening zur Synthese und Charakterisierung entwickelt. Durch Nutzung eines PVD-Beschichtungsprozesses und Targets verschiedener Zusammensetzung können die Wissenschaftler zahlreiche Legierungsvariationen gleichzeitig abscheiden. Diese analysieren sie zeitsparend mit automatisierten Messroutinen hinsichtlich ihrer Härte sowie chemischen Zusammensetzung, und bewerten sie

in Bezug auf ihre Eignung. Ausgewählte Materialsysteme wurden bereits erfolgreich mittels Laserpulver- und Laserdrahtauftragschweißen in Form mehrlageriger flächenhafter Beschichtungen synthetisiert. Eine Weltneuheit stellt dabei die erfolgreiche Synthese der für Hochtemperaturanwendungen favorisierten Refraktärlegierungen mittels Laserdrahtauftragschweißens dar, am Beispiel des Systems »TiZrNbHfTa«. Ebenfalls erstmals qualifizierten die IWS-Forscher das Verfahren der sogenannten Fused Filament Fabrication zum 3D-Druck von Hochentropielegierungen.

- 1 Eine Weltneuheit stellt die erfolgreiche Synthese der für Hochtemperaturanwendungen favorisierten Refraktärlegierungen mittels Laserdrahtauftragschweißens dar. Im Bild: Kornstruktur der generierten TiZrNbHfTa-Legierung.
- 2 Erstmals druckten Wissenschaftler des IWS 3D-Hochentropie-Demonstratorstrukturen, die aus der als Cantorlegierung bezeichneten Zusammensetzung CrMnFeCoNi bestehen.

KONTAKT

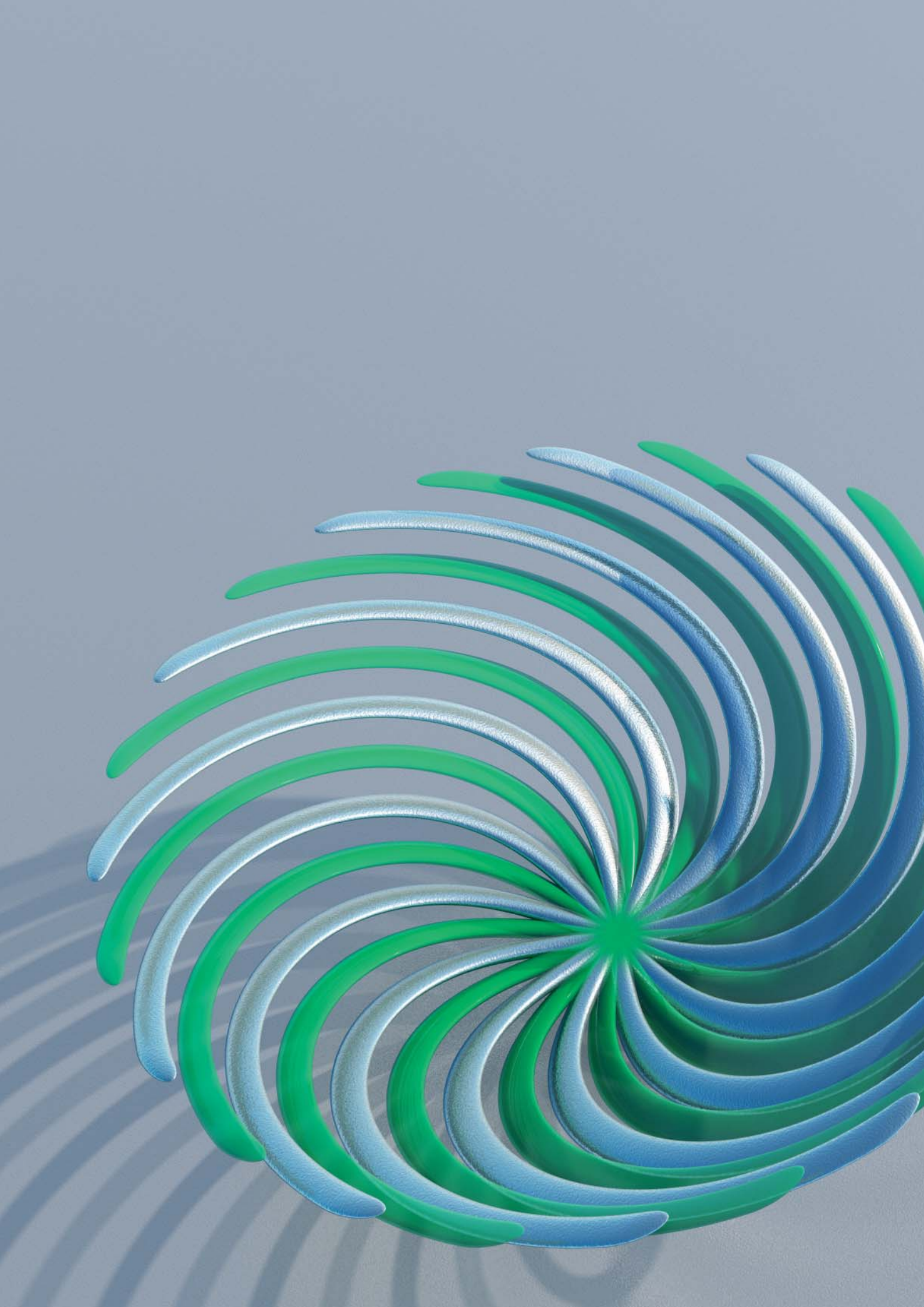
Dr. Jörg Kaspar

Werkstoff- und Schadensanalytik

☎ +49 351 83391-3216

✉ joerg.kaspar@iws.fraunhofer.de





ZENTREN UND NETZWERKE

KOOPERATIONSPARTNER

ZENTREN

AUSSENSTELLEN

NETZWERKE

FRAUNHOFER-VERBUND
LIGHT & SURFACES

KONTAKTADRESSE UND ANFAHRT

IMPRESSUM



KOOPERATIONSPARTNER



CENTER FOR COATINGS AND DIAMOND TECHNOLOGIES CCD

In der heutigen Wirtschaftslage kompetitiv zu bleiben, erfordert innovative Produkte und Herstellungslösungen. Im Speziellen zielen die Projekte des Fraunhofer CCD auf Beschichtungs- und Technologielösungen ab, die Prozesse, Materialien und systemtechnisches Know-how mit wissenschaftlicher Exzellenz, Qualitäts- und Projektmanagement in Einklang bringen. Das Angebot umfasst das Beschichten und Testen von Materialien für Kundenanwendungen, Forschungs- und Entwicklungsprojekte für die Produktentwicklung, Beratungs- und Ingenieursleistungen,

Materialcharakterisierungen sowie Systementwicklung, -integration, -installation und Support. Das Fraunhofer-Center for Coatings and Diamond Technologies CCD befindet sich in East Lansing, Michigan, auf dem Campus der Michigan State University (MSU). Seit vierzehn Jahren arbeitet das Fraunhofer IWS mit dem Fraunhofer CCD und der MSU auf den Forschungsfeldern Dünnschicht- und Diamanttechnik zusammen.

KONTAKT: Prof. Dr. Thomas Schülke, ☎ +1 517 432-8173, ✉ tschuelke@fraunhofer.org



CENTER FOR LASER APPLICATIONS CLA

Das Fraunhofer-Center for Laser Applications CLA ist das Ergebnis der Bündelung aller Laser-Aktivitäten von Fraunhofer USA in einem gemeinsamen Zentrum. Seit 1994 entwickelt dieses in den USA neue Laserapplikationen für eine große Vielfalt an industriellen Anwendern. Mit seiner Expertise auf dem Gebiet der Lasermaterialbearbeitung und seinen Laseranlagen auf dem neuesten Stand der Technik unterstützt das Fraunhofer CLA dabei, Prozesslösungen für den individuellen Nutzen zu entwickeln. Im Mittelpunkt der Aktivitäten steht die Bereitstellung von Lasertechnologien und Systemen. Das Center bietet eine breite

Palette von Laserprozessen einschließlich Schweißen, Schneiden, Bohren, Beschichten, Wärmebehandeln, Oberflächenmarkieren und -strukturieren sowie additiver Fertigung. Ein weiteres Spezialgebiet ist die Entwicklung von Systemtechnik zur Prozessüberwachung und Steuerung. Außerdem entwickeln die Forscher am Fraunhofer CLA Bearbeitungsköpfe zum Auftragschweißen und Generieren. Das CLA befindet sich in Plymouth, Michigan, in der Nähe von Detroit.

KONTAKT: Craig Bratt, ☎ +1 734 738-0550, ✉ cbratt@fraunhofer.org



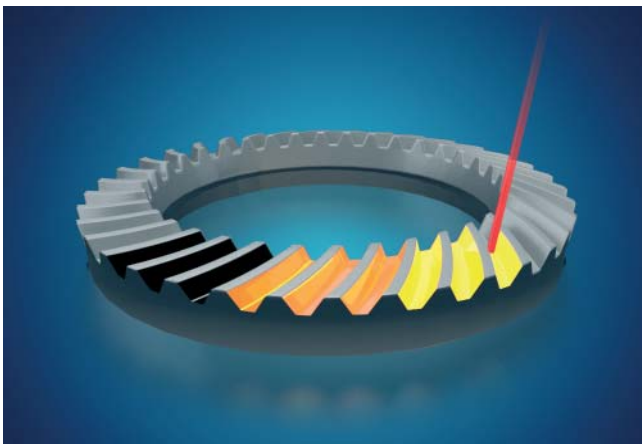
FRAUNHOFER PROJECT CENTER – WROCŁAW CENTER OF EXCELLENCE FOR MANUFACTURING

In Partnerschaft mit der Wrocław University of Technology gegründet, erweitert das »Fraunhofer Project Center for Laser Integrated Manufacturing« das Kooperationsnetzwerk des Fraunhofer IWS nach Osteuropa und nimmt eine Vorreiterrolle in der deutsch-polnischen Zusammenarbeit ein. Die wichtigsten Zielstellungen der Kooperation bestehen einerseits in der Auftragsforschung und in Entwicklungen für polnische Industriekunden. Andererseits treiben die Kooperationspartner den Ausbau des Center-Ausbildungsangebots voran und fördern

den grenzüberschreitenden wissenschaftlichen Austausch. Am Fraunhofer Project Center in Wrocław wird an neuen Methoden und Technologien für optische Messungen und Oberflächeninspektionen an schwierig zu qualifizierenden Bauteilen gearbeitet. Die Aktivitäten im Reverse Engineering sind eng verknüpft mit der Digitalisierung physischer Objekte und der Erstellung von 3D-Computermodellen. Außerdem besteht in der Lasermaterialbearbeitung sowie dem Rapid Prototyping und Rapid Tooling ein enger Austausch mit dem Kompetenzfeld Materialprüfung des Fraunhofer IWS.

KONTAKT: Prof. Dr. Edward Chlebus, TU Wrocław, ☎ +48 71 320 2705, ✉ edward.chlebus@pwr.wroc.pl
Prof. Dr. Karol Kozak, ☎ +49 351 83391-3717, ✉ karol.kozak@iws.fraunhofer.de

ZENTREN

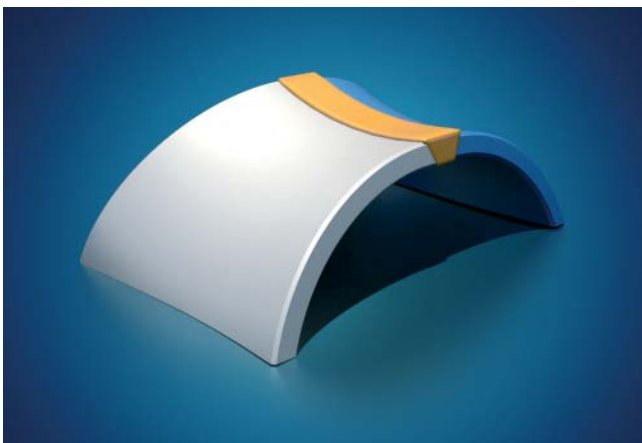


ZENTRUM THERMISCHE OBERFLÄCHENTECHNIK

Das Fraunhofer IWS verfügt über eine europaweit einzigartige Verfahrensbreite für das Beschichten oder Veredeln jeglicher Oberflächen. Das Zentrum Thermische Oberflächentechnik bündelt diese ausgeprägte Werkstoffkompetenz, um Komplettlösungen für komplexe Aufgabenstellungen aus den unterschiedlichsten Branchen zu entwickeln und die Ergebnisse zügig in die Praxis zu übertragen. Dadurch ermöglicht das Zentrum nicht nur Laborlösungen, sondern Anwender profitieren insbesondere auch von der Erfahrung des Fraunhofer IWS, die Technologieentwicklungen inklusive applikationsspezifischer Hard- und Softwarekomponenten in die industrielle Produktion zu übertragen.

Das Verfahrensspektrum der thermischen Oberflächentechnik kommt unter anderem in der Automobilindustrie und Energietechnik, Luft- und Raumfahrt, Medizintechnik, Öl- und Gasindustrie sowie im Werkzeug- und Maschinenbau zum Einsatz. Das Teilespektrum reicht von Abmessungen weniger Millimeter bis hin zu mehreren Metern.

KONTAKT: Dr. Denise Beitelschmidt, ☎ +49 351 83391-3519, ✉ denise.beitelschmidt@iws.fraunhofer.de



ZENTRUM TAILORED JOINING

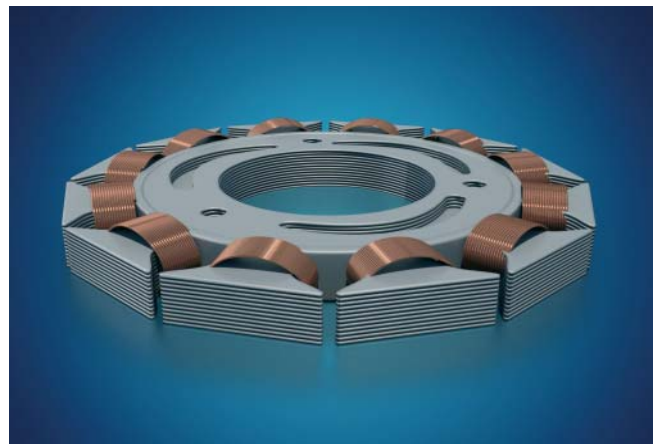
Das Fügen stellt eine zentrale Herausforderung der Produktion und oft einen signifikanten Kostenfaktor dar. Um wichtige Verbesserungen und Impulse liefern zu können, entstand in Kooperation mit der TU Dresden und weiteren Partnern das fügetechnische Zentrum »Tailored Joining«. Ziel ist es, Anwendern einen Überblick über Möglichkeiten und Grenzen diverser Fügeverfahren zu geben, einen direkten Vergleich zu ermöglichen, Neuentwicklungen kompakt darzustellen und industriebezogene Lösungen aufzeigen. Der Partner TU Dresden konzentriert sich am Lehrstuhl Füge-technik und Montage auf Verfahren sowie Werkzeuge

im thermischen, umformtechnischen und mechanischen sowie im Hybrid-Fügen und beschäftigt sich mit der ganzheitlichen Planung von Montage-, Handhabungs- und Fügeprozessen. Die Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW mit ihrem Know-how in Elektronenstrahlschweißen unterstützt den Dresdner Verbund seit 2014 aktiv. Ein besonderes Augenmerk legen alle Partner auf eine wertungsfreie Gegenüberstellung der verschiedenen Lösungen, sodass Anwender direkte Entscheidungshilfen für ihr jeweiliges Anliegen erhalten.

KONTAKT: Dr. Jens Standfuß, ☎ +49 351 83391-3212, ✉ jens.standfuss@iws.fraunhofer.de

ZENTRUM ENERGIEEFFIZIENZ

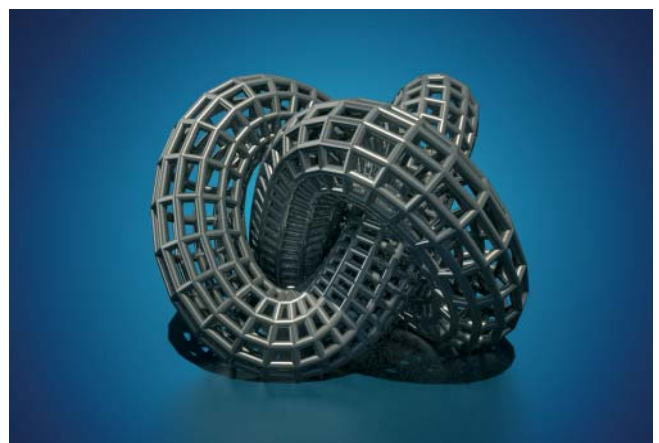
Der sparsame Umgang mit Energie und die Weiterentwicklung ressourcenschonender Technologien ist das zentrale Anliegen der Forschungs- und Entwicklungsarbeit im Zentrum Energieeffizienz. Dieses bündelt alle Kräfte, um das Thema Energieeffizienz als einen festen Bestandteil der Forschungs- und Entwicklungsarbeit weiter zu etablieren. Um die Wahrnehmung für die Energieeffizienz über die Institutsgrenzen hinaus zu schärfen und Neuentwicklungen zu beschleunigen, gründete das Fraunhofer IWS zum Beispiel im Jahr 2009 das »Dresdner Innovationszentrum Energieeffizienz DIZE^{EFF}«. Darin bearbeiteten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der TU Dresden und der Dresdner Fraunhofer-Institute in zahlreichen Projekten gemeinsam Forschungsaufgaben in den Themenfeldern Hochleistungssolar- und Brennstoffzellen, Hochtemperaturenergetechnik, Leichtbau sowie effizientere Elektromotoren, Fertigung und energiesparende Displays.



KONTAKT: Prof. Dr. Christoph Leyens, ☎ +49 351 83391-3242, ✉ christoph.leyens@iws.fraunhofer.de

ADDITIVE MANUFACTURING CENTER DRESDEN

Das Additive Manufacturing Center Dresden (AMCD) ist ein internationales Kompetenzzentrum, an dem verfahrensübergreifend Werkstoff- und Fertigungslösungen für herausfordernde Produkte erarbeitet werden. Es entstand in enger Kooperation zwischen Fraunhofer IWS, TU Dresden und DRESDEN-concept. Gleichzeitig koordiniert das Projekt Agent-3D vom AMCD aus die Zusammenarbeit mit seinen Konsortialpartnern. Das Kompetenzzentrum bietet eine ideale Vernetzungsplattform für Wirtschaft sowie universitäre Grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung in einem sich rasant entwickelnden Hochtechnologiefeld. Der Fokus liegt auf den Branchen Luft- und Raumfahrt, Automobilindustrie, Energietechnik, Werkzeug- und Formenbau sowie Medizintechnik. Die umfangreiche Verfahrenspalette umfasst unter anderem Laserauftragschweißen sowohl mit Pulver als auch mit Draht, Selektives Laserstrahlschmelzen, Elektronenstrahlschmelzen und 3D-Druck. Außerdem entwickeln die Wissenschaftler im AMCD Werkstoffe, Prozesse, Systemtechnik, Sensorik und Online-Prozessdiagnostik.



KONTAKT: Prof. Dr. Frank Brückner, ☎ +49 351 83391-3452, ✉ frank.brueckner@iws.fraunhofer.de

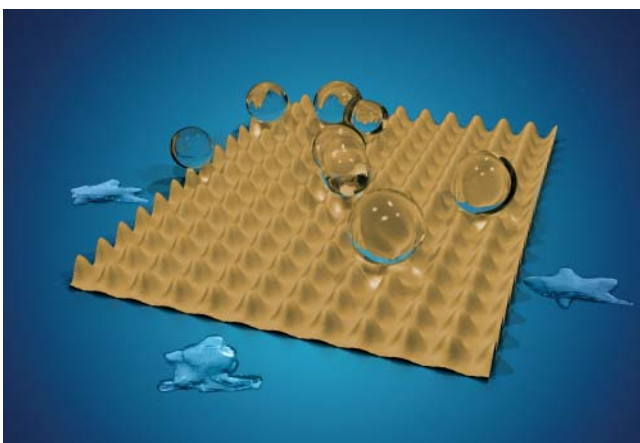


ZENTRUM BATTERIEFORSCHUNG

Technologien für neue Energiespeicher stehen im Fokus des Zentrums Batterieforschung. Dessen Herausforderung besteht darin, kostengünstige Lösungen mit verbesserter Energiedichte für eine Vielzahl von Wachstumsmärkten zu finden. Entscheidend für die Markteinführung einer neuen Zellgeneration, aber auch für die Kostenreduktion bestehender Zelltechnologien, ist die Entwicklung kostengünstiger und skalierbarer Produktionsverfahren. Das Fraunhofer IWS etablierte daher eine Prozesskette zur Batteriezellfertigung von der Elektrodenherstellung über das Konfektionieren und Assemblieren der Elektrodenstapel bis hin zur verpackten Pouchzelle.

Neben der klassischen Nassbeschichtung von Batterieelektroden arbeiten die Forscher am vollständig lösungsmittelfreien Verarbeiten von Ausgangsmaterialien zu freistehenden Elektrodenfilmen. Die Konfektionierung der Elektroden erfolgt mittels Laserschneiden und lässt sich dadurch an verschiedene Zellformate anpassen.

KONTAKT: Dr. Holger Althues, ☎ +49 351 83391-3476, ✉ holger.althues@iws.fraunhofer.de



ZENTRUM ADVANCED MICRO-PHOTONICS

Laserbasierte Oberflächenmodifikation und Strukturierungsmethoden sind Inhalt des CAMP. Ziel ist es, Vorteile, Möglichkeiten und Herausforderungen der Entwicklung neuer Lösungen für Systeme, Prozesse und Messtechnik aufzuzeigen. Treiber sind die aktuellen Trends im laserbasierten Mikrobearbeiten. Um Technologien in industrielle Prozesse zu transferieren, wird die gesamte Wertschöpfungskette abgebildet. CAMP veranschaulicht übergreifende Ansätze von der Simulation über den Laserprozess und die optische Messtechnik bis zum maschinellen Lernen. Daher konzentriert sich das Fraunhofer IWS ge-

meinsam mit der TU Dresden auf unterschiedliche Anwendungen des Lasermikrobearbeitens und der Messtechnik. Das Zentrum greift auf eine große Auswahl aktueller Technologien mit einem breiten Anwendungsspektrum zurück, wie etwa das Mikroböhren, -schneiden und strukturieren sowie das Lasermarkieren und Laserinterferenzstrukturieren.

KONTAKT: Dr. Udo Klotzbach, ☎ +49 351 83391-3252, ✉ udo.klotzbach@iws.fraunhofer.de
Prof. Dr. Andrés-Fabián Lasagni, ☎ +49 351 83391-3007, ✉ andres-fabian.lasagni@iws.fraunhofer.de

PROJEKTGRUPPE DES FRAUNHOFER IWS AM DORTMUNDER OBERFLÄHCENTRUM DOC®

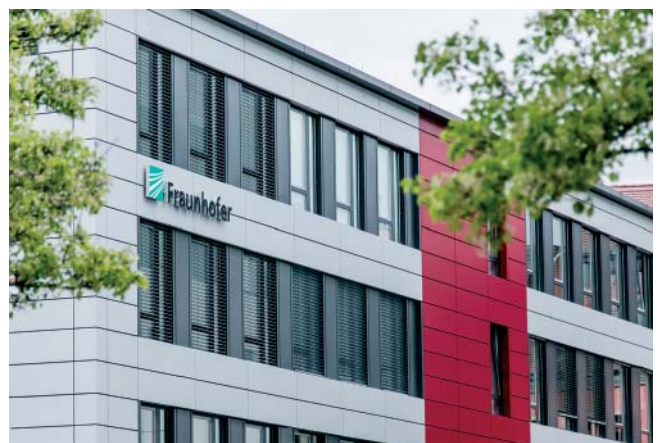
Für maßgeschneiderte Beschichtungen zum Einsatz in kontinuierlichen Verfahren auf Stahlband steht das DOC®. Vorrangig zielen dessen Entwicklungen darauf ab, Funktionen wie Korrosionsbeständigkeit, Kratzfestigkeit, elektrische Leitfähigkeit oder Reinigungseigenschaften zu verbessern. Die Entwicklungstätigkeiten der Gruppe konzentrieren sich auf die Oberflächenbeschichtung mittels PVD- und thermischer Beschichtungsverfahren sowie der Laseroberflächenbearbeitung. Das DOC® legt seine Schwerpunkte auf die Entwicklung leitfähiger, umformbarer Kohlenstoffschichtsysteme und Oberflächen für die Elektromobilität, unter anderem für Brennstoffzellen, Diamor®-Schichtsysteme für den Verschleißschutz auf Basis des Verfahrens »short pulsed Arc« (spArc®), modernste PVD-Hochleistungsverfahren, die Vakuum-Lichtbogendrahtspritztechnik und das großflächige Laserumschmelzen mit Hochleistungslasern zur Bandveredelung.



KONTAKT: Dr. Teja Roch, ☎ +49 231 844-3894, ✉ teja.roch@iws.fraunhofer.de

ANWENDUNGSZENTRUM FÜR OPTISCHE MESSTECHNIK UND OBERFLÄCHENTECHNOLOGIEN AZOM

Angesiedelt im Umfeld der Westsächsischen Hochschule Zwickau bildet das AZOM eine Brücke zwischen dem Fraunhofer IWS in Dresden und der regionalen Wirtschaft. Für Unternehmen entwickeln und erproben die Forscher industrietaugliche optische Messverfahren. Das Leistungsspektrum umfasst Sensoren für unterschiedliche Prozessparameter und -größen, aber auch komplexe Messplätze und -geräte mit Anbindung an die Datenverarbeitung der Auftraggeber. Das AZOM erweitert



das Anwendungsspektrum des Fraunhofer IWS in der Oberflächenanalytik. Gleichzeitig erhält eine Reihe von Studenten und Absolventen der Hochschule in Zwickau die Möglichkeit, in Industrieprojekten mitzuarbeiten. Das in den neuen Bundesländern einzigartige Fraunhofer-Anwendungszentrum verfügt über Laborräume, die mit optischen Tischen, Systemkomponenten und zahlreichen Messgeräten sowie Systemen zur Oberflächenanalyse ausgestattet sind.

KONTAKT: Prof. Dr. Peter Hartmann, ☎ +49 171 9066-350, ✉ peter.hartmann@iws.fraunhofer.de

NETZWERKE

DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 72 Institute und Forschungseinrichtungen. Mehr als 26 600 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,5 Milliarden Euro. Davon fallen knapp 2,1 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

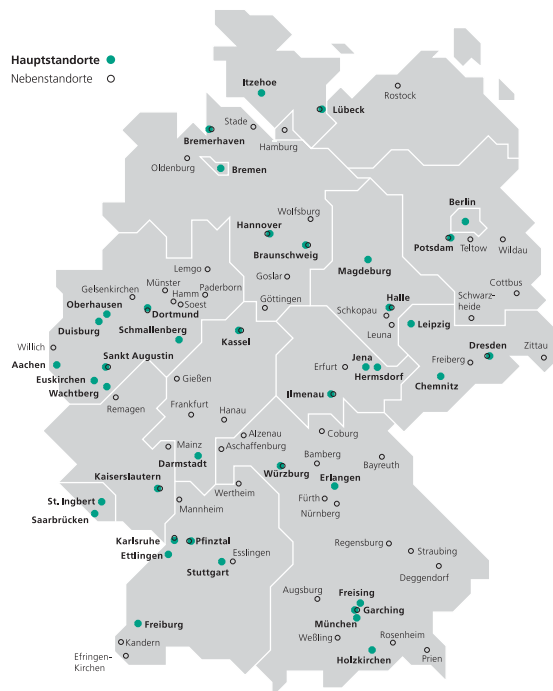
Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungs-

fähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung an Fraunhofer-Instituten hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich.



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Exzellente Kooperation: Seit dem Beginn im Jahr 1997 hat das Fraunhofer IWS die Zusammenarbeit mit den verschiedenen Lehrstühlen der TU Dresden kontinuierlich ausgebaut. Diese ermöglicht die Vereinigung des breiten Grundlagenwissens der Universität mit der anwendungsorientierten Entwicklung am IWS. Professoren und Mitarbeiter der TU Dresden sind eng in die Forschungsprojekte des Instituts eingebunden und partizipieren an dessen technischer Ausstattung und Infrastruktur. IWS-Führungskräfte und -Mitarbeiter unterstützen die Universität in der Ausbildung von Studenten sowie Doktoranden und rekrutieren daraus ihre Nachwuchswissenschaftler.



PROF. DR. CHRISTOPH LEYENS
*Fakultät Maschinenwesen
Institut für Werkstoffwissenschaft*

Professur für Werkstofftechnik



PROF. DR. STEFAN KASKEL
*Fakultät Mathematik und Naturwissenschaften,
Fachrichtung Chemie und Lebensmittelchemie*

Professur für anorganische Chemie



PROF. DR. KAROL KOZAK
*Medizinische Fakultät
Klinik für Neurologie*

Professur für Datenverwaltung
und Datenauswertung



PROF. DR. ANDRÉS-FABIÁN LASAGNI
*Fakultät Maschinenwesen
Institut für Fertigungstechnik*

Professur für laserbasierte Methoden der
großflächigen Oberflächenstrukturierung



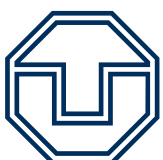
PROF. DR. ANDREAS LESON
*Fakultät Maschinenwesen
Institut für Fertigungstechnik*

Professur für Nano-
und Schichttechnologie



PROF. DR. MARTINA ZIMMERMANN
*Fakultät Maschinenwesen
Institut für Werkstoffwissenschaft*

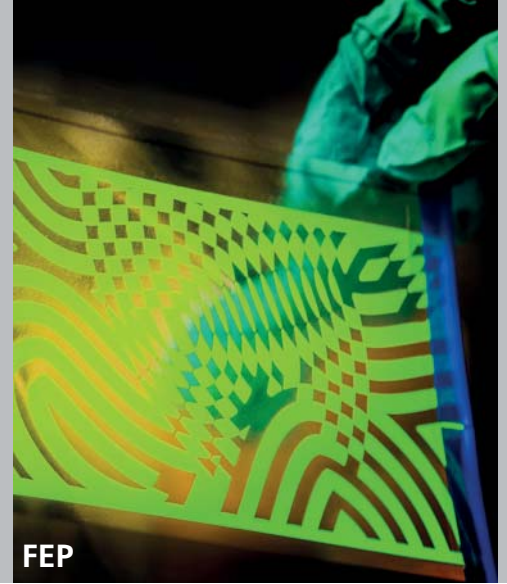
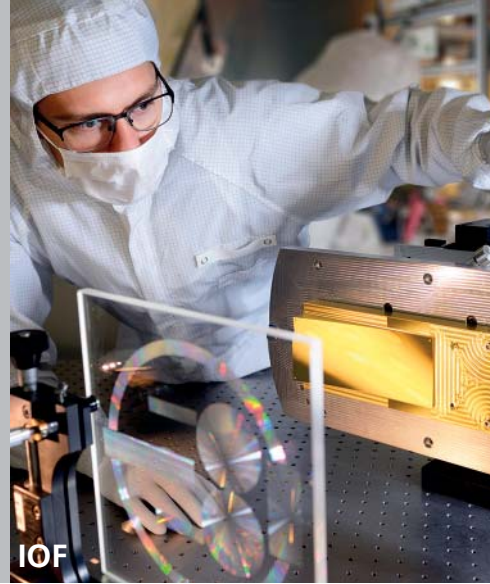
Professur für Werkstoffmechanik
und Schadensfallanalyse



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

DRESDEN
concept





FRAUNHOFER-VERBUND LIGHT & SURFACES

KOMPETENZ DURCH VERNETZUNG

Sechs Fraunhofer-Institute kooperieren im Verbund Light & Surfaces. Aufeinander abgestimmte Kompetenzen gewährleisten eine schnelle und flexible Anpassung der Forschungsarbeiten an die Erfordernisse in den verschiedensten Anwendungsfeldern zur Lösung aktueller und zukünftiger Herausforderungen, insbesondere in den Bereichen Energie, Umwelt, Produktion, Information und Sicherheit. Koordinierte, auf die aktuellen Bedürfnisse des Markts ausgerichtete Strategien führen zu Synergieeffekten zum Nutzen der Kunden.

KERNKOMPETENZEN DES VERBUNDS

- Beschichtung und Oberflächenfunktionalisierung
- Laserbasierte Fertigungsverfahren
- Laserentwicklung und nicht lineare Optik
- Materialien der Optik und Photonik
- Mikromontage und Systemintegration
- Mikro- und Nanotechnologien
- Kohlenstofftechnologie
- Messverfahren und Charakterisierung
- Ultrapräzisionsbearbeitung
- Werkstofftechnologien
- Plasma- und Elektronenstrahlquellen

KONTAKT

Prof. Dr. Reinhart Poprawe (Verbundvorsitzender)

☎ +49 241 8906-110

Dr.-Ing. Arnold Gillner (Geschäftsführer)

☎ +49 241 8906-148

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT

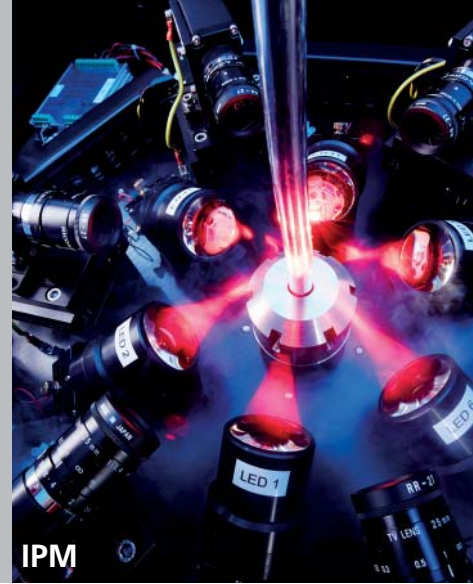
Mit über 400 Patenten seit 1985 ist das Fraunhofer ILT ein gefragter FuE-Partner der Industrie für die Entwicklung innovativer Laserstrahlquellen, Laserverfahren und Lasersysteme. Unsere Technologiefelder umfassen Laser und Optik, Lasermesstechnik, Medizintechnik und Biophotonik sowie Lasermaterialbearbeitung. Hierzu zählen u. a. das Schneiden, Abtragen, Bohren, Schweißen und Löten sowie die Oberflächenbearbeitung, die Mikrofertigung und das Rapid Manufacturing. Übergreifend befasst sich das Fraunhofer ILT mit Laseranlagentechnik, Prozessüberwachung und -regelung, Modellierung sowie der gesamten Systemtechnik.

🌐 www.ilt.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ORGANISCHE ELEKTRONIK, ELEKTROSTRAL- UND PLASMATECHNIK FEP

Das Fraunhofer FEP arbeitet an innovativen Lösungen im Bereich der Vakuumbeschichtung, der Oberflächenbehandlung und der organischen Halbleiter. Grundlage dieser Arbeiten sind die Kernkompetenzen Elektronenstrahltechnologie, Sputtern, plasmaaktivierte Hochratebedampfung und Hochrate-PECVD sowie Technologien für organische Elektronik und IC-/Systemdesign. Unsere Technologien und Prozesse finden Anwendung im Maschinenbau, im Transportwesen, in der Biomedizintechnik, der Architektur und für den Kulturguterhalt, in der Verpackungsindustrie, im Bereich Umwelt und Energie, in der Optik, Sensorik und Elektronik sowie in der Landwirtschaft.

🌐 www.fep.fraunhofer.de



FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ANGEWANDTE OPTIK UND FEINMECHANIK IOF

Das Fraunhofer IOF entwickelt innovative optische Systeme zur Kontrolle von Licht – von der Erzeugung und Manipulation bis hin zu dessen Anwendung. Unser Leistungsangebot umfasst die gesamte photonische Prozesskette vom optomechanischen und optoelektronischen Systemdesign bis zur Herstellung von kundenspezifischen Lösungen und Prototypen. Das Institut ist in den fünf Geschäftsfeldern »Optische Komponenten und Systeme«, »Feinmechanische Komponenten und Systeme«, »Funktionale Oberflächen und Schichten«, »Photonische Sensoren und Messsysteme« sowie »Lasertechnik« aktiv.

www.iof.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SCHICHT- UND OBERFLÄCHENTECHNIK IST

Das Fraunhofer IST bietet als innovativer FuE-Partner Lösungen in der Oberflächentechnik, die gemeinsam mit Kunden aus Industrie und Forschung erarbeitet werden. Das »Produkt« ist die Oberfläche, die durch Modifizierung, Strukturierung und/oder Beschichtung für Anwendungen primär in den folgenden Geschäftsfeldern optimiert wird: »Maschinenbau, Werkzeuge und Fahrzeugtechnik«, »Luft- und Raumfahrt«, »Energie und Elektronik«, »Optik« und »Life Science und Umwelt«. Die Kompetenzen des Fraunhofer IST in der Schichtherstellung und Schichtenanwendung werden unterstützt durch eine entsprechende Schicht- und Oberflächenanalytik sowie durch die Simulation der vakuumbasierten Beschichtungsprozesse.

www.ist.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR WERKSTOFF- UND STRAHLTECHNIK IWS

Licht und Schicht: Das Fraunhofer IWS wirkt überall dort, wo Laser- auf Oberflächentechnik trifft. Wenn es darum geht, unterschiedliche Materialien Lage um Lage aufzutragen, zu fügen, zu trennen, zu funktionalisieren oder zu analysieren, kommt das Dresdner Institut ins Spiel. Von der Entwicklung neuer Verfahren über die Integration in die Fertigung bis hin zur anwendungsorientierten Unterstützung reicht das Angebot – alles aus einer Hand. Das Fraunhofer IWS stellt sich den Herausforderungen der Digitalisierung. Der Fokus liegt auf der Forschung und Entwicklung von Lösungen für »Industrie 4.0«.

www.iws.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PHYSIKALISCHE MESSTECHNIK IPM


Das Fraunhofer IPM entwickelt maßgeschneiderte Messtechniken, Systeme und Materialien für die Industrie. Dadurch ermöglichen wir unseren Kunden, ihren Energie- und Ressourceneinsatz zu minimieren und gleichzeitig Qualität und Zuverlässigkeit zu maximieren. Fraunhofer IPM macht Prozesse ökologischer und gleichzeitig ökonomischer. Langjährige Erfahrungen mit optischen Technologien und funktionalen Materialien bilden die Basis für Hightech-Lösungen in der Produktionskontrolle, der Materialcharakterisierung und -prüfung, der Objekt- und Formerfassung, der Gas- und Prozesstechnologie sowie im Bereich »Funktionelle Materialien und Systeme«.

www.ipm.fraunhofer.de

KONTAKTADRESSEN UND ANFAHRT




Adresse

 Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden

Winterbergstraße 28
01277 Dresden

 www.iws.fraunhofer.de

 +49 351 83391-0

 +49 351 83391-3300

 info@iws.fraunhofer.de



ab Autobahn

- Autobahn A4 oder A 13 bis Dreieck Dresden-West, dann über die Autobahn A 17, Ausfahrt Südvorstadt/Zentrum,
- Bundesstraße B 170 Richtung Stadtzentrum bis Pirnaischer Platz (ca. 6 km),
- am Pirnaischen Platz rechts abbiegen Richtung "Gruna/VW-Manufaktur",
- geradeaus, am Ende des »Großen Gartens« rechts in die Karcherallee,
- an der folgenden Ampel links in die Winterbergstraße.



ab Dresden-Hauptbahnhof

- Straßenbahnlinie 10 zum Straßburger Platz,
- mit den Linien 1 (Prohlis) oder 2 (Kleinzschachwitz) stadtauswärts bis Haltestelle Zwinglistraße,
- 10 min zu Fuß (Richtung Grunaer Weg).



ab Flughafen Dresden

- Ab Flughafen Dresden-Klotzsche mit dem Taxi zur Winterbergstraße 28 (ca. 10 km),
- oder mit der S-Bahn (unterirdische S-Bahn-Station) zum Hauptbahnhof, weiter mit der Straßenbahn (siehe oben).

Redaktion und Koordination: Dipl.-Soz. Wiss. Markus Forytta
B. Sc. Matti Hilbert

Gestaltung: Ricarda Nonn
René Zenner
Kerstin Zenner

Lektor: Martin Zimmermann

Druckerei: Stoba-Druck GmbH
Am Mart 16
01561 Lampertswalde

Bildnachweis: S. 4, 10, 28, 36, 44, 52, 60, 68
S. 10, 95
S. 14, 15
S. 17
S. 20
S. 8, 45
S. 43
S. 58
S. 59
S. 75, 98
S. 98
S. 99
S. 97
S. 90
S. 91
S. 85

Alle anderen Abbildungen

Förstermartin.de, Martin Förster
WHZ Helge Gerischer
DDpix.de, Marcel Quietzsch
Held Systems GmbH
Jürgen Jeibmann
Shutterstock Fraunhofer IWS
Elbtal Plastics GmbH & Co. KG
Bombardier
Shutterstock
Fraunhofer IOF
Fraunhofer FEP
Fraunhofer ILT, IPM, IST
Lothar Sprenger
Fraunhofer USA
Wrocław University of Technology
Frank Höhler

Fraunhofer IWS



www.iws.fraunhofer.de