

Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften

Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh | Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart | Technische Universität München | www.iwb.tum.de

Sicherheit bei Laser-Materialbearbeitungsanlagen

Laser-Materialbearbeitungsanlagen wurden in den vergangenen Jahren in den Punkten Ausgangsleistung, Strahlqualität und flexible Kinematiken stark weiterentwickelt. Dies führte zu einer Erschließung neuer Anwendungsgebiete und zu einer weiten Verbreitung dieser Technologie. Damit eröffnete sich allerdings auch eine neue Gefährungsdimension, weshalb die Sicherheit an Laser-Materialbearbeitungsanlagen in den Fokus der Wissenschaft gerückt ist.

Als eines der führenden produktions-technischen Institute in Deutschland betreibt das *iwb* nicht nur Forschung im Bereich der allgemeinen Laser-Materialbearbeitung, sondern auch auf dem Gebiet der Lasersicherheit. So werden am Institut nicht nur in-

novative Sicherheitskonzepte, wie die im letzten *iwb*-Newsletter vorgestellte flüssigkeitsgefüllte Schutzwand, entwickelt, sondern auch wissenschaftliche Untersuchungen im Rahmen zweier Forschungsprojekte durchgeführt, um die Lasersicherheit zu verbessern.

Basisschutz

Passive Laserschutzwände schützen die Umgebung durch ihre physikalischen Eigenschaften: Trifft der Laserstrahl auf die Wand, wird so lange Energie absorbiert, bis der Werkstoff der Umhausung schmilzt oder sublimiert, wodurch der Umwelt für eine gewisse Zeit Schutz geboten wird. Sicherheitseinrichtungen dieser Art waren und sind für leistungsschwache Strahlquellen ausreichend. Bei Hochleistungslasern neuer Bauart, welche die Wand fokusnah bestrahlen können, sind die Standzeiten sehr kurz. Da aber der Schutz ausreichend lange bestehen muss, um einen eventuell auftretenden Fehler zu erkennen und die Anlage abzuschalten, gewinnt die beanspruchungsgerechte Auslegung

EDITORIAL

Liebe Leserinnen und Leser,

2015 feiern wir das „Internationale Jahr des Lichts“ – dieses soll uns an die Bedeutung des Lichts als elementaren Bestandteils von Wissenschaft, Gesellschaft und Kultur erinnern. Insbesondere in der Produktionstechnik werden die Forschungsergebnisse aus der Photonik auch zukünftig zu neuen Möglichkeiten führen.

Aber werfen wir zunächst einen Blick in die Historie: Seit jeher ist das Licht für den Menschen lebensbestimmend, regelt den Tagesablauf und spendet Wärme. Anfang des 20. Jahrhunderts postulierte Albert Einstein die stimulierte Emission von Licht und legte damit einen wichtigen Grundstein. Nach einer Reihe weiterer bahnbrechender Erkenntnisse ist jetzt ein neues Jahrhundert angebrochen – das Jahrhundert des Photons.

Die Photonik spielt für die Gesellschaft in vielen Bereichen eine herausragende Rolle. Heute ist eine ganz besondere Art von Lichtquelle als „allgegenwärtiges“ Werkzeug aus unserem beruflichen und privaten Alltag nicht mehr wegzudenken – der Laser. Spontan fallen uns hier zum Beispiel der Scanner einer jeden Supermarktkasse, das CD-Laufwerk oder die Laserpistole der Polizei zur Geschwindigkeitsmessung als Einsatzgebiet für



Laserstrahlung ein. Nicht nur in der Medizin ist der Laser heute unverzichtbar geworden, auch im Entertainmentbereich werden beeindruckende Showeffekte mittels Lasertechnologie realisiert. Schlussendlich sei noch die einfachste Anwendung genannt, die so klein ist, dass sie in jede Hosentasche passt – der Laserpointer.

Seit Mitte der 1980er Jahre erforscht das *iwb* nun den Einsatz von Laserstrahlung in der industriellen Fertigung. Alleine 30 Dissertationen entstanden am *iwb* zu diesem Thema. Die erste im Jahr 1992 verfasste Arbeit von Florian Garnich betrachtete den Einsatz von Robotern in der Laserbearbeitung und trug damit zum industriellen Einsatz dieser Technologie bei. Ob Schneiden, Schweißen, Reinigen, Strukturieren oder additiv Fertigen – heute findet der Laser in den Forschungsarbeiten unserer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine Vielzahl von Anwendungen. Mit diesen Kompetenzen

hat sich das *iwb* in den letzten 25 Jahren als fester Bestandteil der deutschen Lasercommunity etablieren können.

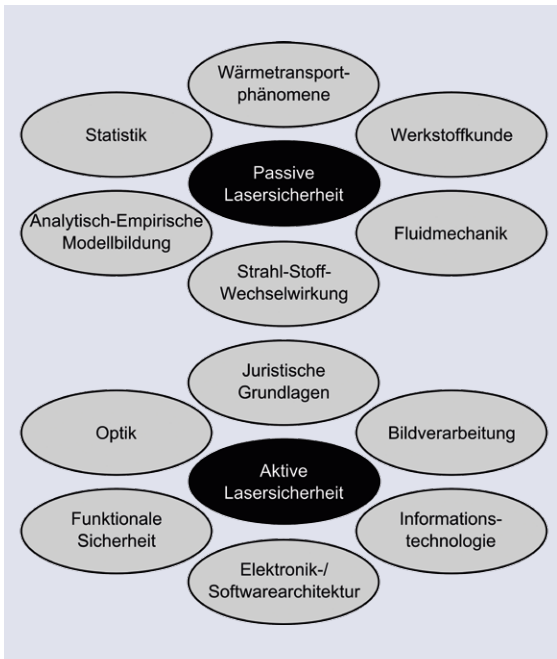
Es gilt jedoch nicht nur neue Erkenntnisse zu gewinnen, sondern diese auch weiterzugeben. So wurde vor 4 Jahren in Zusammenarbeit mit zwei Kollegen, den Professoren Laubereau und Kienberger von der Fakultät für Physik, die Vorlesung Lasertechnik ins Leben gerufen, welche inzwischen von mehr als 120 Studierenden pro Studienjahr besucht wird. Dies sichert die Weiterführung der zukünftigen Forschung in diesem Bereich.

Nicht nur die Lasersicherheit als Querschnittsdisziplin, sondern unter anderem auch den Einsatz des Lasers in der Batterieproduktion möchten wir Ihnen in unserer aktuellen Ausgabe vorstellen. Wir freuen uns, Ihnen zum „Internationalen Jahr des Lichts“ mit unserer Sonderausgabe einen Einblick in die aktuellen und bevorstehenden Herausforderungen der Lasertechnologie vorzustellen und wünschen Ihnen nun viel Spaß beim Lesen!

Ihre



Gunther Reinhart und Michael Zäh



Fachgebiete, die Werkzeuge zur Forschung im Bereich der Lasersicherheit liefern

von passiven Laserschutzwänden zunehmend an Bedeutung. Aus diesem Grund arbeitet das *iwb* im Rahmen des von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) geförderten Forschungsprojekts „PaLaSi – passive Lasersicherheit für Hochleistungslaser im industriellen Einsatz“ an der Entwicklung von praxismgerechten, wissenschaftlich fundierten Auslegungsrichtlinien und der dazugehörigen Methode zu deren Anwendung.

Aktive Sicherheit – erweiterter Schutz für Hochleistungsanlagen

Da die Standzeit passiver Schutzwände für voll- und teilautomatisierte An-

lagen oftmals nicht ausreicht, werden häufig aktive Systeme verwendet. Alle kommerziell erhältlichen Einrichtungen dieser Art sind wandbasiert. Das bedeutet, dass passive Schutzwände mit Sensoren ausgestattet werden, welche bei der Detektion einer Bestrahlung die Anlage stillsetzen. Da aktive Systeme eine ausreichende funktionale Sicherheit bieten müssen und die Anzahl der Sensoren aufgrund ihrer Bauart mit der Größe der Umhausung korreliert, fallen für die Nutzer in der Regel hohe Kosten an. Um Laseranlagen auch in Zukunft wirtschaftlich betreiben zu können, entwickelt das *iwb* im Rahmen des von der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) geförderten Forschungsprojekts „ZaktiSiLa – Zentrale aktive Lasersicherheitseinrichtung für Laser im industriellen Einsatz“ ein aktives Sicherheitskonzept, welches mit einem oder maximal zwei zentral positionierten Sensoreinheiten auskommt.

Lasersicherheit – eine Querschnittsdisziplin

Das Gesamtziel der oben genannten Forschungstätigkeiten ist es, praxisgerechte und fundierte Wege zur Auslegung von Lasersicherheitseinrichtungen aufzuzeigen und tragfähige sowie wirtschaftliche Sicherheitskonzepte zur Verfügung zu stellen. Zu diesem Zweck ist es unerlässlich, Werkzeuge aus verschiedensten Fachgebieten heranzuziehen. Bei der Untersuchung passiver Laserschutzwände stehen überwiegend die Bereiche Strahl-Stoff-Wechselwirkung, Statistik, Wärmetransportphänomene, Fluidmechanik, Werkstoffkunde sowie eine empirische und analytische

Modellierung im Vordergrund. Bei der Entwicklung aktiver Sicherheitssysteme spielen juristische Grundlagen, funktionale Sicherheit, Optik und Bildverarbeitung, Elektronik- und Softwarearchitektur sowie Datenübertragung und Informationstechnologie eine tragende Rolle.

Dank

Das IGF-Vorhaben 17.349 N der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des Deutschen Verbands für Schweißen und verwandte Verfahren e. V. (DVS) zur passiven Lasersicherheit wird 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. Die Forschungsarbeit zur aktiven Lasersicherheit wird mit Mitteln der DGUV unterstützt.



Autor

Dipl.-Ing. (FH) Florian Lugauer, M. Sc.
Themengruppe Füge- und Trenntechnik

Online-Qualitätssicherung beim Remote-Laserstrahlschweißen

Im Forschungsprojekt „Bildverarbeitung beim Remote-Laserstrahlschweißen (RLS)“ befasst sich das *iwb* mit der Erkennung und Nachverfolgung von Schweißspritzern. Die zentrale Zielsetzung ist die Entwicklung einer Systemtechnik zur Online-Qualitätskontrolle. Zur Quantifizierung und zur Charakterisierung von Spritzern soll eine Scanneroptik in Kombination mit Methoden zur automatisierten Bildverarbeitung eingesetzt werden.

Das Laserstrahlschweißen mit Scanneroptiken gewinnt in der industriellen Anwendung weiter an Bedeutung. Gründe hierfür sind die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten sowie die Flexibilität bei der Schweißnahtgestaltung.

Beim Remote-Laserstrahlschweißen (RLS) wird der Laserstrahl durch mehrere angetriebene und drehbar gelagerte Spiegel abgelenkt und präzise über ein Bauteil bewegt. Den Vorteilen des Verfahrens stehen verfahrens-

spezifische Herausforderungen bei der Überwachung und der Auslegung der Prozesse gegenüber.

Ausgangssituation

Das Auftreten von Schweißspritzern bedeutet für zahlreiche produktionstechnische Betriebe Qualitätseinbußen bei der Herstellung ihrer Produkte sowie erhöhte Kosten durch zusätzliche Arbeitsschritte, wie z.B. das Entfernen von Spritzern vor dem Lackieren. Aufgrund der fehlenden Möglichkeiten zur Quantifizierung und

Charakterisierung von entstehenden Spritzern ist bislang eine strukturierte Vorgehensweise zur Bestimmung von angepassten „spritzerfreien“ Prozessparametern mit einem erheblichen experimentellen Aufwand verbunden. Die Prozessüberwachung wird durch den großen Arbeitsabstand der Scanneroptik zur Prozesszone erschwert, da jedes auszuwertende Signal zwischen der Prozesszone und dem Sensor durch externe Einflüsse, wie zum Beispiel die Dampfackel, beeinflusst und dadurch verfälscht wird.

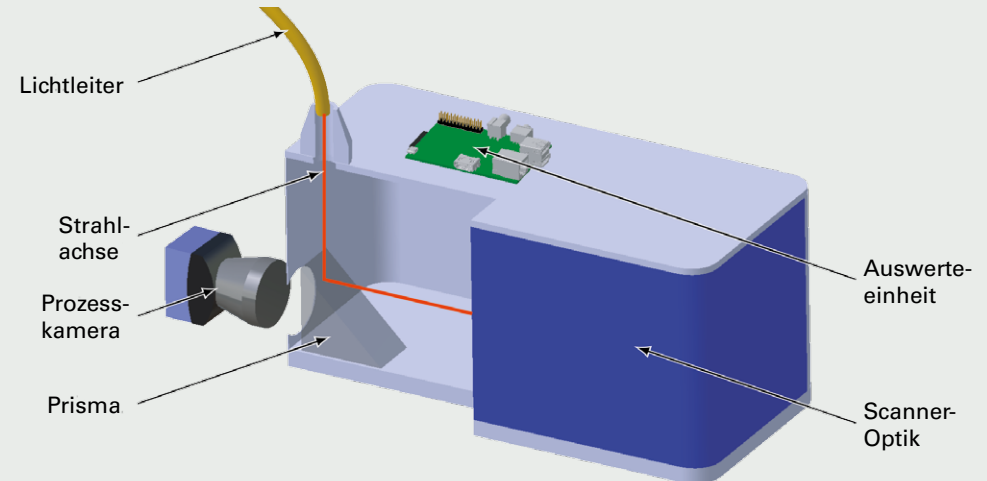
Zielsetzung

Das Ziel des Vorhabens liegt in der Entwicklung und dem Aufbau einer kompakten kamerabasierten Messtechnik zur Erkennung und Charakterisierung von Schweißspritzern. Mit Hilfe der entwickelten Systemtechnik soll eine Online-Qualitätssicherung im industriellen Umfeld ermöglicht werden.

Vorgehen

Im ersten Arbeitsschritt werden die Anforderungen an eine Kamera zur echtzeitfähigen Bewertung der Schweißzone festgelegt. Als Grundlage dafür dienen Vorarbeiten des *iwb* zur Spritzererkennung beim RLS mit überlagerter Strahloszillation. Eine anschließende Integration der ausgewählten Kamera in den Strahlengang der Scanneroptik soll eine kontinuierliche Beobachtung und Bewertung der Prozesszone ermöglichen.

Bevor quantitative Aussagen zu Spritzern, wie z.B. über die Größe oder die Flugrichtung, getroffen werden können, müssen die durch die Linsen bedingten Abbildungsfehler beseitigt werden. Dazu wird am *iwb* eine Me-



thode zur automatischen Bildfeldkalibrierung über den Bereich des gesamten Scafeldes entwickelt, mit der es möglich ist, diese Abbildungsfehler softwareseitig zu kompensieren.

Im zweiten Arbeitsschritt soll ein Algorithmus zur Online-Detektion von Schweißspritzern implementiert werden, mit dem während des Schweißprozesses Spritzer erkannt werden können. Ausgehend von diesen Informationen wird die Qualität des Schweißprozesses bewertet und es können weitere Maßnahmen getroffen werden, die zur Reduktion von spritzerbedingtem Ausschuss führen.

Um bereits während der Parameterfindung möglichst effektiv spritzerarme Parameter zu ermitteln, wird die Messtechnik im dritten Arbeitsschritt um einen Algorithmus zur Nachverfolgung von Schweißspritzern erweitert. Damit wird nicht nur eine Quantifizierung der Spritzer ermöglicht, sondern auch eine Charakterisierung bezüglich Geschwindigkeit und Flugrichtung geschaffen. Mit Hilfe dieser Eigen-

schaften soll eine Methode entwickelt werden, die es erlaubt, angepasste Parameter während des Einrichtbetriebes automatisiert zu ermitteln.

Ausblick

Im Zeitraum der nächsten zwei Jahre wird am *iwb* der Prototyp eines Scanners mit einer koaxial integrierten Kamera in Betrieb genommen werden. Mit Hilfe dieser Technik sollen erste Testschweißungen zur Beurteilung der Qualität durchgeführt und die entwickelten Algorithmen im Laborumfeld und bei Industriepartnern validiert werden.

Beobachtung und Bewertung der Prozesszone mittels einer Kamera im Strahlengang der Scanneroptik



Autor

**Dipl.-Ing.
Martin Wilhelm
Haubold**

Themengruppe
Füge- und Trenntechnik

140 Jahre Ideen, Entwicklung und Innovation für die Produktion...

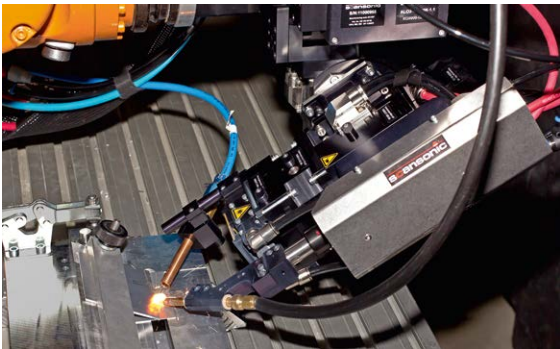
Mit der Gründung im Jahr 1875 feiert das *iwb* dieses Jahr ein besonderes Jubiläum. Erfahren Sie mehr über einzelne Jahre und besondere Ereignisse der bisherigen 140 Jahre:

www.iwb.tum.de/140Jahre.

Intensitätsangepasstes Laserstrahlschweißen

Im Rahmen des Transferprojekts T09 des Sonderforschungsbereichs TR10 beschäftigt sich das *iwb* mit der Übertragung des intensitätsangepassten Laserstrahlschweißens auf industrielle Anwendungen. Dabei steht der Einsatz an Karosseriebauteilen aus Aluminiumwerkstoffen im Vordergrund.

Scansonic ALO3 während der Durchführung der experimentellen Versuche mit angepasster Intensitätsverteilung



Ansatz zur Erzeugung hochqualitativer Schweißverbindungen. Sowohl das Fügen von heißrissskritischen Aluminiumlegierungen als auch die Erzeugung von Sichtnähten sind Aufgaben bzw. Anforderungen, denen mit diesem Verfahren begegnet werden soll.

Experimentelle Analyse

Zur Untersuchung dieses speziellen Laserstrahlverfahrens steht am *iwb* eine eigens dafür entwickelte Optik zur Verfügung, mit der durch die Überlagerung zweier Laserstrahlen aus unter-

schiedlichen Strahlquellen eine an den Anwendungsfall angepasste Intensitätsverteilung ermittelt werden kann. Im Anschluss an die Durchführung statistisch geplanter Versuche folgt eine metallografische Auswertung, um sowohl die Anbindung als auch die Fehlerfreiheit der entstandenen Schweißnähte zu beurteilen. Zur Bewertung der Oberflächenqualität können Hochgeschwindigkeitsaufnahmen des Prozesses und Rauheitsmessungen an der Schweißnahtnahe herangezogen werden. Die im Rahmen der Experimente ermittelte angepasste Intensitätsverteilung kann mithilfe moderner Strahlformungskonzepte auf den Serienprozess übertragen werden.

Strahlformungskonzept

Ein Strahlformungskonzept, das in der Lasermaterialbearbeitung immer stärkere Verbreitung findet, ist die Verwendung von diffraktiven optischen Elementen (DOE). Diese werden bisher meist als Strahlteiler oder zur Erzeugung von speziellen Strahlformen oder von Top-Hat-Profilen eingesetzt. Weiterhin ist eine Nutzung zur Korrektur von Abbildungsfehlern möglich. Bei der Herstellung dieser Elemente werden spezielle Strukturen in die Oberfläche des Substrats eingebracht, wodurch in der Fokusebene des Laserstrahls die gewünschte Intensitätsverteilung erzielt wird. Im Rahmen des Transferprojekts wurden für die Anwendung an Karosseriebauteilen zwei unterschiedliche Intensitätsverteilungen abgeleitet, die mit Hilfe von DOE realisiert werden konnten.

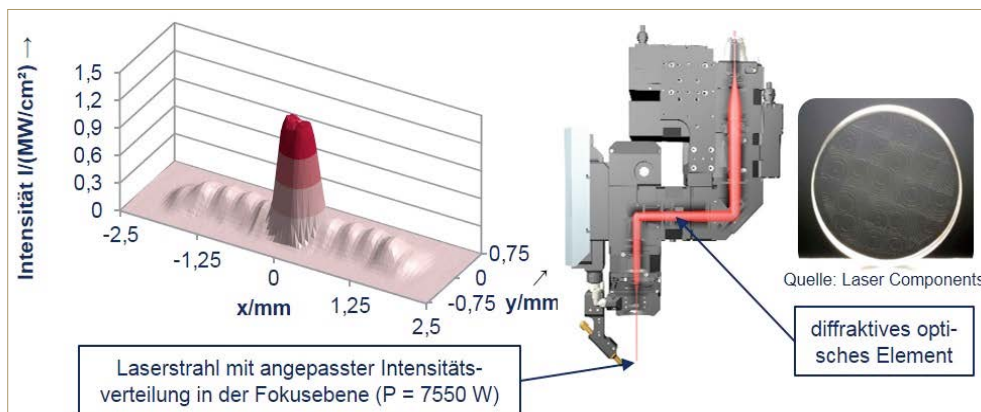
Integration in eine taktil geführte Schweißoptik

Für die Umsetzung an realen Karosseriebauteilen konnten die DOE in Zusammenarbeit mit Scansonic in eine serientaugliche ALO3-Schweißoptik integriert werden. Dafür musste in die Optik, die zudem über eine taktile Nahtführung verfügt, lediglich ein Zusatzmodul im Bereich des kollimierten Strahls eingesetzt werden. Das Zusatzmodul dient als Trägerelement für das DOE und kann bei entsprechender Auslegung dieser Speziallinse an bestehenden Optiken nachgerüstet werden. Die zweite Abbildung zeigt eines der beiden erzeugten Intensitätsprofile bei einer Laserleistung von $P = 7550 \text{ W}$. Zudem ist der Strahlengang durch die Optik und die Platzierung des DOE dargestellt. Ein Bereich mit niedriger Intensität bewirkt ein Vorwärmen der Prozesszone und des Zusatzdrahtes, sodass ein stabiles und effizientes Einkoppeln im Bereich hoher Intensität ermöglicht wird. Anschließend folgt ein weiterer Bereich mit niedriger Intensität, um das bestehende Schmelzbad zu verlängern, wodurch eine geringe Schmelzbad-dynamik und dadurch eine sehr hohe Oberflächenqualität erreicht wird. Eine besondere Herausforderung stellt dabei der Einsatz von AW-6xxx-Legierungen dar, die aufgrund ihrer Zusammensetzung eine sehr starke Heißrisseigung aufweisen. Im Rahmen von Validierungsversuchen an Mustergeometrien konnte die Anwendbarkeit des Verfahrens mit DOE erfolgreich nachgewiesen und die Bildung von Heißrissen wesentlich reduziert werden. In weiteren Untersuchungen erfolgt nun die Übertragung der Erkenntnisse auf reale Karosseriebauteile.

Dank

Unser Dank gilt der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Förderung des Projekts im Rahmen des Sonderforschungsbereichs Transregio 10. Zudem geht der Dank an die Scansonic MI GmbH für die Bereitstellung der optischen Komponenten sowie an die BMW AG für die zur Verfügung gestellten Karosseriebauteile.

Erzeugung der charakteristischen Intensitätsverteilung durch die Integration eines diffraktiven optischen Elements



Autor

**M. Sc.
Stefan Liebl**

Themengruppe
Füge- und Trenntechnik



*Pulverwerkstoff
für das Laser-
strahlschmelzen*

Laserbasierte additive Fertigung – Chancen und Risiken

Die laserbasierte additive Fertigung bietet aufgrund des schichtweisen Aufbaus von Bauteilen aus pulverförmigen Ausgangsmaterialien große Vorteile. Dies schließt beispielsweise das Leichtbaupotenzial ein. Optimierungsbedarf besteht jedoch noch hinsichtlich der Multimaterialverarbeitung. Gleichzeitig muss zum Einsatz dieses Verfahrens wegen des pulverförmigen Ausgangswerkstoffes ein geeignetes Arbeitssicherheitskonzept gelebt werden.

gangsmaterials einige Gefahren, die bei der Nutzung von additiven Fertigungsverfahren unbedingt beachtet werden müssen. Um hochwertige Bauteile fertigen zu können, ist es notwendig Pulver mit einer durchschnittlichen Korngröße von etwa 20 bis 50 µm einzusetzen. Zwar ist hier der Großteil der

Die laserbasierte additive Fertigung bietet verfahrensbedingt große konstruktive Freiheiten, sodass es möglich ist, komplexe Strukturen zu fertigen, die mit konventionellen Verfahren nur mit großem Aufwand herstellbar sind. Dies beinhaltet beispielsweise Bauteilformen, die sich aus rechnergestützten Leichtbauoptimierungen ergeben.

Grundlagen

Bei additiven Fertigungsverfahren werden Bauteile sukzessive aus einzelnen Schichten aufgebaut. Im „AMLab – Laboratory for Additive Manufacturing“ in Augsburg liegt der Fokus auf pulverbettbasierten Verfahren wie dem Laserstrahlschmelzen. Dabei wird zunächst mithilfe eines Rakels oder einer Walze eine gleichmäßige Pulverschicht aufgetragen. In einem zweiten Schritt wird diese selektiv mithilfe eines Lasers verfestigt. Anschließend wird erneut eine Pulverschicht aufgebracht. Diese Einzelschritte wiederholen sich so lange, bis das Bauteil vollständig aufgebaut ist.

Multimaterial

Im Bereich des Laserstrahlschmelzens ist es derzeit noch nicht realisierbar, Multimaterial-Bauteile herzustellen. Durch bereits abgeschlossene Forschungsarbeiten ist es zwar möglich, Beschichtungen mit einem zweiten Material im Pulver-

bett zu erzeugen, jedoch können keine 3-dimensionalen Multimaterialbauteile gefertigt werden. Im Rahmen des BFS-Forschungsprojektes „ForNextGen“ soll dies realisiert werden. Hierzu werden zunächst verschiedene Konzepte erarbeitet, die auf unterschiedlichen physikalischen Prinzipien beruhen. Beispielsweise seien hier die Elektrostatik und die Aerodynamik genannt. Diese werden derzeit in Voruntersuchungen getestet. Auf dieser Grundlage wird ein Mechanismus ausgewählt und in eine bestehende Laserstrahlanlage integriert. Ziel ist es, Bauteile herzustellen, die ideal den Einsatzbestimmungen entsprechen, indem lokal angepasste Werkstoffe eingesetzt werden. Dies hat nicht nur eine effizientere Nutzung der einzelnen Komponenten bei der Fertigung zur Folge, sondern kann auch nachgelagerte Prozessschritte verbessern. So können beispielsweise Zykluszeiten von Spritzgussbauteilen verkürzt werden, wenn bei der additiven Herstellung des Werkzeugs ein Kupferwerkstoff zur Optimierung des Wärmeabtransports und ein Werkzeugstahl zur Erhöhung der Standzeit eingesetzt werden.

Sicherheit

Neben den Vorteilen aufgrund der gestalterischen Freiheiten ergeben sich als Folge des pulverförmigen Aus-

PROJEKTGRUPPE RESSOURCENEFFIZIENTE MECHATRONISCHE VERARBEITUNGSMASCHINEN RMV

► GRÜNDUNG

01.01.2009 in Augsburg

► FORSCHUNGSINTENTION

Nachhaltige Senkung des Ressourcenverbrauchs und Schaffung eines Technologievorsprungs in produzierenden Unternehmen durch exzellente Forschungs- und Entwicklungsarbeit

► ENTWICKLUNGSZIEL 2017

Organisches Wachstum zu einem Fraunhofer-Institut für ressourceneffiziente Verarbeitung am Standort Augsburg



► KOOPERATIONEN

Neben einer administrativen Betreuung und Unterstützung durch das Fraunhofer IWU in Chemnitz wird auch fachlich mit dem Mutterinstitut kooperiert

Eine enge Forschungszusammenarbeit erfolgt mit dem *iwb* der TUM sowie unserem Partner am Standort, dem *iwb* Anwenderzentrum Augsburg

Der geplante Einzug in das Technologiezentrum „Augsburg Innovationspark“ sichert eine gute Vernetzung mit der regionalen Industrie und Hochschullandschaft

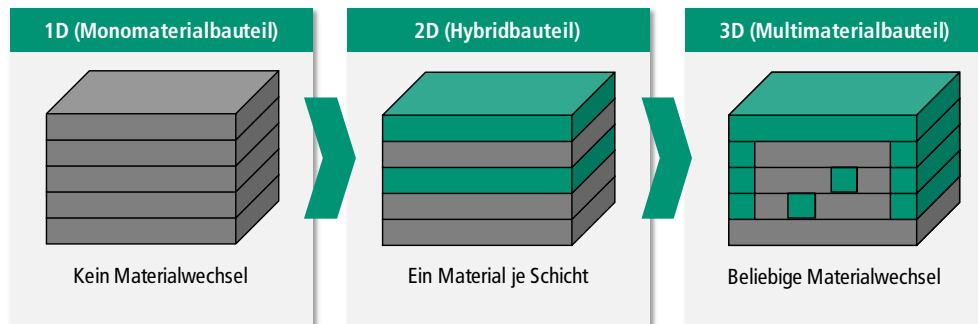
Multimaterial Bauteile mit Hilfe des Laserstrahlschmelzens

Pulverfraktion nicht gesundheitsschädlich, jedoch ist ein kleiner Teil einer jeden Pulvercharge alveolengängig, d.h. im Bereich von $< 5 \mu\text{m}$. Ein weiterer kritischer Aspekt, der sich durch den Ausgangszustand ergibt, ist die erhöhte Explosionsgefahr. Diese ist besonders bei reaktiven Metallpulvern oder bei

Aluminiumlegierungen gegeben. Aus diesem Grund muss vor allem bei der Vorbereitung der Bauvorhaben sowie beim Entpacken fertiger Bauteile mit besonderer Vorsicht gearbeitet werden.

Es lässt sich zusammenfassen, dass die Arbeiten des AMLab darauf ausgerich-

tet sind, Multimaterial-Bauteile mit einem hohen Maß an Arbeitssicherheit zu fertigen.



Autoren

M. Sc. Christine Anstatt
Projektgruppe RMV des Fraunhofer IWU



M. Sc. Sandra Schreiber
iwb Anwenderzentrum Augsburg

Laserbasierter Konturbeschnitt macht den Unterschied

Um die Masse von Automobilen zu reduzieren, wird besonders CFK in Zukunft vermehrt eingesetzt, wodurch die Reichweite und die Fahrdynamik positiv beeinflusst wird. Strukturbauteile aus CFK unterliegen dabei hohen Qualitätsanforderungen, wie beispielsweise hinsichtlich der Beschaffenheit der Außenkontur. Um diesen Anforderungen zu begegnen, erforscht das iwb mit dem Einsatz der Laserstrahlung ein alternatives Trennverfahren.

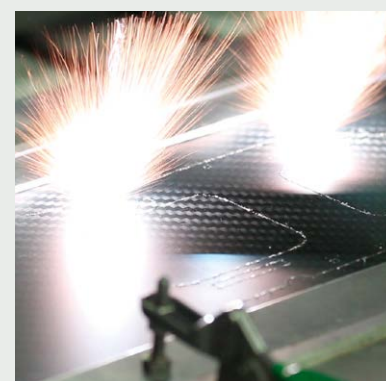
Vom Textil zum Bauteil

Die Herstellung von CFK-Bauteilen in der finalen Außenkontur ist in einem Prozessschritt nicht möglich. Harzinfiltrationsverfahren und die Bauteilherstellung mit vorimprägnierten Fasertextilien haben gemeinsam, dass ein fehlerfreier Bauteilrand nicht direkt herstellbar ist. Daher müssen zunächst überstehende Randbereiche vorgehalten wer-

den, innerhalb derer der anschließende Konturbeschnitt erfolgt.

Konturbeschnitt

Ein etablierter Trennprozess für CFK ist das Fräsen. Jedoch ist der Schneidverschleiß des Fräsers bei der Bearbeitung von CFK ein dominanter fertigungstechnischer Nachteil. Die Ursache liegt in der stark abrasiven Wirkung der



Laserbeschnitt von CFK

Kohlenstofffaser, was bei fortgeschrittenem Werkzeugverschleiß zum Auszug von Kohlenstofffasern in der Schnittkante führt.

Neben dem Fräsen findet das Wasserstrahltrennen mit Abrasivmittel Anwendung. Die Krafteinwirkung des Wasserstrahls an der Schnittkante kann jedoch bei diesem Verfahren schädigende Delaminationen im Bauteilrandbereich verursachen.

Trennen mittels Laser

Der Trennprozess mittels Laserstrahlung unterliegt anderen Wirkmechanismen. Hier erfolgt der Abtrag durch teilweises Verdampfen des Werkstoffs in der Schnittfuge. Beim Remote-Laserstrahlschneiden wird der Laserstrahl mithilfe einer Scanneroptik bis zur vollständigen Trennung in mehreren Zyklen über die Schnittfuge abgelenkt. Mit dieser Schneidstrategie kann die für den thermischen Abtrag typische Wärmeein-

DIE NÄCHSTE GENERATION DER LASERMATERIALBEARBEITUNG AUF DER LASER WORLD OF PHOTONICS 2015

Unter dem diesjährigen Motto „Next Generation“ präsentierte das iwb in Zusammenarbeit mit der Messe München GmbH sowie der Bayerisches Laserzentrum GmbH auf mehr als 300 m² aktuelle Forschungsergebnisse, Themen und Trends auf der Sonderschau „Photons in Production“.



Vom Schneiden über das Schweißen bis hin zur Oberflächenbehandlung – auf der diesjährigen LASER World of Photonics erhielten die Besucher vom 22. – 25. Juni 2015 einen Einblick in die zahlreichen Einsatzmöglichkeiten für den Laser. Neben diesen vielfältigen Gebieten stand auch das Thema Lasersicherheit im Vordergrund: Mit einem mobilen Prüfstand für Laserschutzwände, einer flüssigkeitsgefüllten Laserschutzwand sowie einem Strahlmessbogen, welcher die Reflexionen beim Schweißen messen und damit mögliche Gefahrenquellen entdecken kann, präsentierten wir die große Vielfalt an Einsatzmöglichkeiten. Auf dem traditionellen Standfest

durften wir neben Vertretern aus Forschung, Industrie und Presse auch wieder viele Ehemalige aus den Reihen des iwb e.V. begrüßen.

Impressionen zum diesjährigen Auftritt erhalten Sie unter:
www.iwb.tum.de/LASER2015_Impressionen

flusszone auf weniger als 100 µm Breite begrenzt werden.

Dynamische Festigkeitsuntersuchungen

Strukturbauteile unterliegen in der Regel wechselnder Belastung. Mithilfe der dynamischen Festigkeitsprüfung kann dieser Betriebszustand nachgebildet werden.



Dauerschwingversuch

Zur Beurteilung laserstrahlgeschnittener CFK-Proben diene als Referenzverfahren das Wasserstrahltrennen. Mit der Verwendung einer gelochten Prüfkörpergeometrie wurde infolge des Kerbeffekts die Lastkonzentration an der untersuchten Schnittkante erzeugt. Dadurch wurde die gewünschte Sensitivität der Zugproben erzielt. Die Auswertung ergab, dass die ertragbaren Lastspielzahlen bis zum Versagen der Probe beim Laserstrahltrennen grundsätzlich höher lagen. Die Referenzproben versagten abrupt, während sich das Bauteilversagen im Fall des Laserbeschnitts durch einen leichten Rückgang der Steifigkeit ankündigte.

Zusammenfassung

Laserstrahlgetrennte CFK-Proben weisen eine niedrige thermische Schnittkantenbeschädigung sowie eine hohe dynamische Festigkeit auf. Demnach bildet dieses Verfahren vor allem für tragende Bauteile eine Alternative zu den bislang industriell eingesetzten Trennverfahren.

Dank

Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „FOREL – Forschungs- und Technologiezentrum für ressourceneffiziente Leichtbaustrukturen der Elektromobilität“ wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

MITARBEITER PROJEKTGRUPPE RMV DES FRAUNHOFER IWU

Neue Mitarbeiter

M. Sc. Christian Gebbe
M. Sc. Jan Klöber-Koch
M. Sc. Svenja Schweda
Dr. Martin Wagenknecht

Ausgeschiedene Mitarbeiter

Ines Egger
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Emin Genc
Dipl.-Ing. (FH) Martin Schmid
Dipl.-Ing. Dominik Simon

ABGESCHLOSSENE FORSCHUNGSPROJEKTE

Kopplung von analytischen und numerischen Modellen zur Simulation thermomechanischer Wechselwirkungen während der Fräsbearbeitung komplexer Werkstücke (CutSim II)

01.12.2012 – 30.11.2014

Förderer: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

(BMBF) im Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“ (Förderkennzeichen 02PJ2763) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.



Autor

**Dipl.-Ing.
Johannes Stock**

Themengruppe
Füge- und Trenntechnik

Laserstrukturierung in der Batterieproduktion

Der Erfolg der Energiewende und der Elektromobilität ist eng mit der Weiterentwicklung leistungsfähiger Energiespeicher verknüpft. Im Rahmen des Forschungsprojekts „EEBatt“ wird am iwB ein innovatives Verfahren zur Laserstrukturierung der Elektrodenfolien von Lithium-Ionen-Batterien erforscht, um die Schichthaftung der Aktivmaterialien zu steigern. Dadurch kann das Nutzungsverhalten der Zellen verbessert und gleichzeitig die Zellmontage vereinfacht werden.

Bei der Produktion von Elektroden für Lithium-Ionen-Batterien werden die Aktivmaterialien als dünne Beschichtungen auf metallische Substratfolien (Aluminium für die Kathode, Kupfer für die Anode) aufgebracht. Die Folien dienen daher gleichzeitig als Trägermaterial und als Stromableiter.

Beschichtungshaftung entscheidend für die Zellperformance

Die Elektroden sind sowohl bei den nachfolgenden Zellmontageprozessen als auch während der Zellnutzung hohen Beanspruchungen ausgesetzt. So induzieren Temperaturschwankun-

gen mechanische Spannungen in der Grenzfläche zwischen der Beschichtung und der Substratfolie, die zu einer Delamination der Beschichtung führen können. Die Folgen sind eine mangelhafte Anbindung der Aktivmaterialien und ein vorzeitiger Kapazitätsverlust der Zelle. Die beständige Haftung der Beschichtungen ist deshalb für eine einwandfreie Zellfunktion unerlässlich.

Vergrößerung der Kontaktoberfläche

Um die Adhäsion zwischen der Beschichtung und der Substratfolie zu erhöhen, wird am iwB ein Verfahren zur Oberflächenstrukturierung mittels La-

serstrahlung erforscht. Durch kurze Laserpulse werden mikroskopisch kleine Vertiefungen in die Substratfolien eingebracht, welche die Kontaktfläche vergrößern – eine Herausforderung angesichts der nur 10 bis 15 µm dünnen Folien. Zusätzlich soll ein Mikroformschluss

IWB FORSCHUNGSBERICHTE

Oliver Rösch

Steigerung der Arbeitsgenauigkeit bei der Fräsbearbeitung metallischer Werkstoffe mit Industrierobotern (Herbert Utz Verlag, Bd. 302)

Thomas Kirchmeier

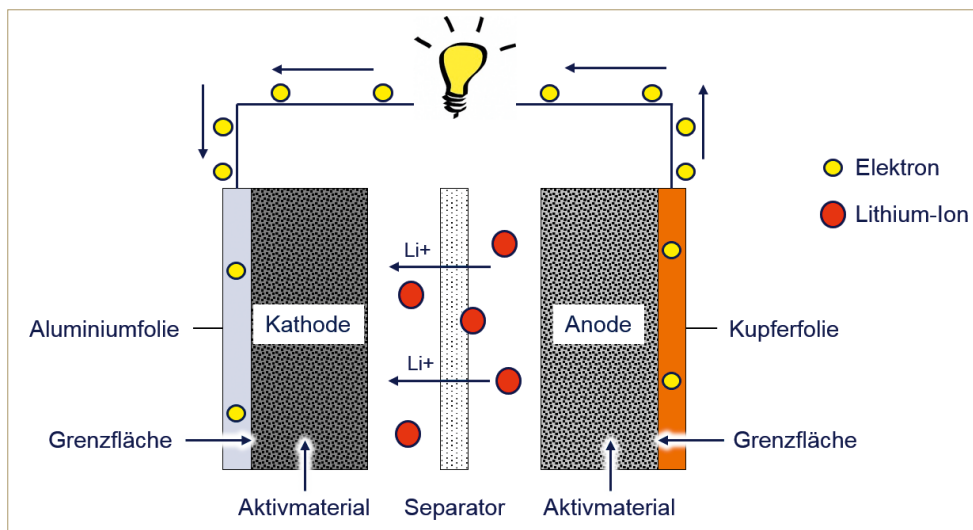
Methode zur Anwendung der berührungslosen Handhabung mittels Ultraschall im automatisierten Montageprozess (Herbert Utz Verlag, Bd. 301)

Markus Graßl

Bewertung der Energieflexibilität in der Produktion (Herbert Utz Verlag, Bd. 300)

Philipp Ronald Engelhardt

System für die RFID-gestützte situationsbasierte Produktionssteuerung in der auftragsbezogenen Fertigung und Montage (Herbert Utz Verlag, Bd. 299)

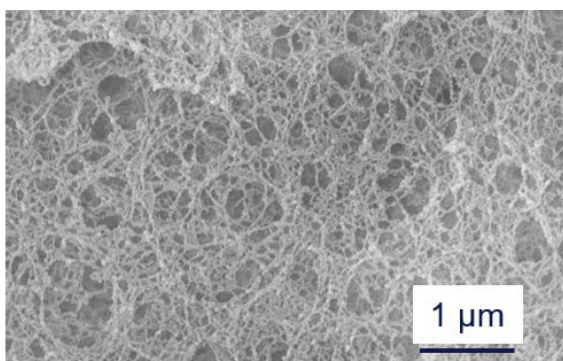
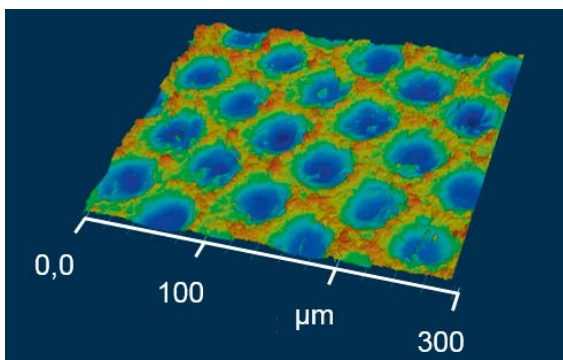
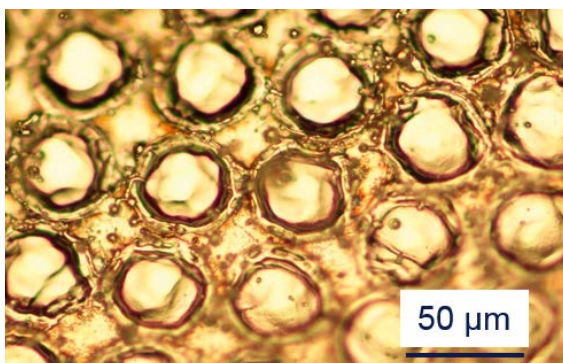


**Funktions-
schema einer
Lithium-Ionen-
Zelle**

durch den Formschluss zwischen der Beschichtungspartikel und der Folienoberfläche erzeugt werden.

Bei der Variation der Prozessparameter wurde die Bildung verschiedenartiger

Strukturen beobachtet. Treffen die Laserpulse räumlich getrennt auf die Metallfolien, so werden kleine Krater geformt. Bei einer Überlappung der Pulse bildet sich hingegen eine Nanostruktur aus, die sich durch eine besonders große Oberfläche mit vielen Hinterschneidungen auszeichnet. Derzeit wird der Zusammenhang zwischen der Struktur und den resultierenden Bindungskräften untersucht. Im Anschluss daran werden Zellen mit strukturierten Substratfolien gefertigt, sodass Kenngrößen der Zelle wie die Lebensdauer oder der Innenwiderstand bewertet werden können.



Oberflächenstrukturen; strukturierte Aluminiumfolie (oben), Topologievermessung (Mitte), Nanostrukturen durch Pulsüberlappung (unten)

Vereinfachung der Handhabungstechnik

Stabile Elektroden mit guter Beschichtungshaftung bieten ein großes Potenzial für Vereinfachungen in der Produktions- und Montagetechnik. So können aufwändige Handhabungswerkzeuge, die für filigrane und empfindliche Elektroden notwendig sind, wesentlich vereinfacht werden. Zugleich ist mit einem sinkenden Materialausschuss durch die Montageprozesse zu rechnen, wodurch sich Produktionskosten einsparen lassen.

Anwendungspotenzial für neue Zellmaterialien

Aufgrund neuer Entwicklungen im Bereich der Aktivmaterialien, wie zum Beispiel der Einsatz von Silizium auf der Anodenseite, wird die Beschichtungshaftung in Zukunft immer wichtiger. Diese Materialien ermöglichen zwar höhere Energiedichten, jedoch dehnt sich die Beschichtung beim Laden stark aus und zieht sich beim Entladen zusammen. Dieser Effekt stellt eine besondere Herausforderung für die Zellauslegung dar, da die Haftung der Beschichtung bei einer Volumenänderung der Aktiv-

materialien nicht sichergestellt ist. Die Laserstrukturierung von Elektrodenfolien bietet hier vielversprechende Möglichkeiten, um den Weg für neue Aktivmaterialien zu ebnen.



Autor

**M. Sc.
Jan Bernd Habedank**
Themengruppe
Füge- und Trenntechnik

IWB TERMINE

**Forschung zum Frühstück –
Industrie 4.0**
Garching, 10.11.2015

Seminar Vernetzte Produktionssysteme
Augsburg, 26.11.2015

Jahresabschlusskolloquium 2015
Augsburg, 11.12.2015

Terminänderungen sowie weitere Termine erhalten Sie auf unserer Homepage www.iwb.tum.de/veranstaltungen.

IMPRESSUM

Der *iwb* newsletter erscheint vierteljährlich und wird herausgegeben vom Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) Technische Universität München Boltzmannstraße 15 85748 Garching
Tel.: 089/289-15500
Fax: 089/289-15555

ISSN 1434-324X (Druck-Ausgabe)
ISSN 1614-3442 (Online-Ausgabe)

Redaktion: Tanja Mayer (verantw.)
Tel.: 089/289-155 51
E-Mail: tanja.mayer@iwb.tum.de
Web: www.iwb.tum.de

Herstellung:
dm druckmedien gmbh
Paul-Heyse-Straße 28
80336 München

Verlag:
Herbert Utz Verlag GmbH
Adalbertstraße 57, 80799 München
Tel. 089-277791-00, Fax: 089/277791-01
E-Mail: info@utzverlag.com
Web: www.utzverlag.com
Natürlich gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Umltpapier.

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