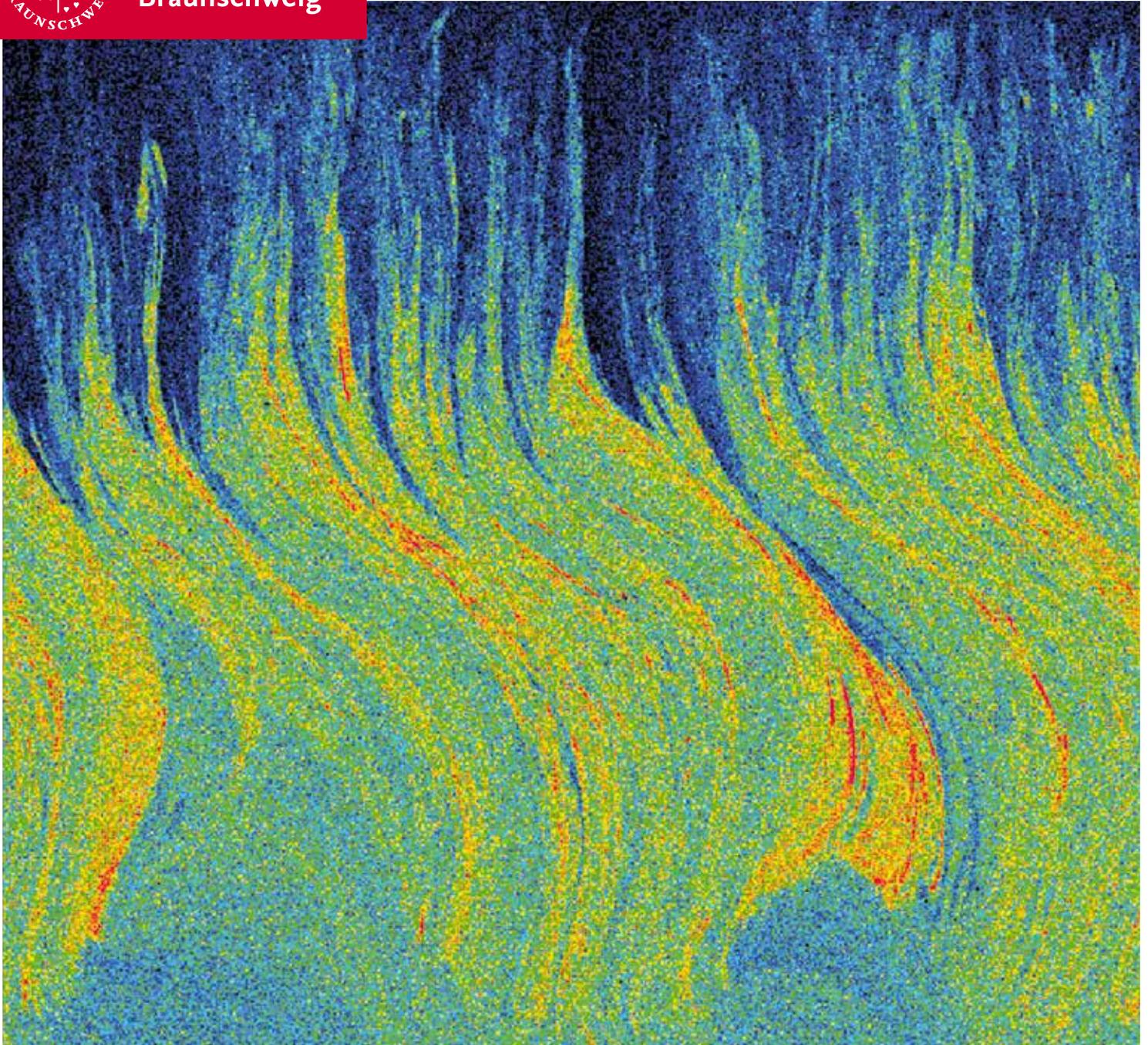




Technische
Universität
Braunschweig

Institut für Füge- und
Schweißtechnik

ifs



report

9. Jahrgang | Ausgabe 1 | 2014

Editorial



Geschäftsführender Leiter
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. h. c. Klaus Dilger

Liebe Leserin, lieber Leser.

„Wieso beschäftigen Sie sich eigentlich mit Leichtbau?“ wurde ich unlängst gefragt. Ich habe kurz gestutzt, da es für mich vollkommen klar war, dass ich mich mit Leichtbau beschäftigen muss. Dies liegt natürlich einerseits daran, dass der Leichtbau und die damit verbundene Energie- und Ressourcenschonung sowie die erzielte Emissionsminderung ein absolutes Zukunftsthema ist, andererseits natürlich auch in den großen Anforderungen, die der Leichtbau an die Fügetechnik stellt. So erklärte ich also meinem Gegenüber, dass infolge der unterschiedlichen Werkstoffe und der neuen Konstruktionsprinzipien die Fügetechnik eine der großen, wenn nicht die größte Herausforderung bei der Umsetzung des Leichtbaus darstellt und dass hier insbesondere kostengünstige, robuste und industrialisierbare Prozesse gefragt sind.

In diesem Gespräch wurde mir aber auch bewusst, dass die Inhalte und die Bedeutung der Fügetechnik unter Nichttechnikern nicht oder nur wenig bekannt sind und dass es somit weiterhin erheblicher Anstrengungen bedarf, um Werbung für unsere Technologie und die entsprechende Ausbildung zu machen.

In diesem Sinne möchten wir Sie im Rahmen unseres neuen *reports* über aktuelle Arbeiten des ifs informieren. Neben unserem großen Thema, der „Open Hybrid LabFactory“, haben wir in diesem Heft unter anderem einen Schwerpunkt auf die Strahltechnik gelegt, die wir in den letzten Jahren massiv ausgebaut haben.

Gratulieren möchte ich den Herren Löchte (IWF) und Kunz (*ifs*) zum Gewinn des „Innovation Awards“ der JEC. Das ist eine große Ehre für unsere Institute und die TU Braunschweig.

Realisierung des Demokratisierten Leichtbaus

10 | WIRTSCHAFT

Samstag, 30. November 2013

Wolfsburg erhält Forschungsfabrik für Leichtbau

Die Open-Hybrid-Lab-Factory wird von Wirtschaft und Wissenschaft getragen. 2015 soll sie bezogen werden.

Von Andreas Schweiger

Wolfsburg. Der Italië-Polo, mit dem Volkswagen jüngst Weltmeister geworden ist, zeigt, wohin der Automobilbau in Zukunft steuert. Die klassische Stahlmotorhaube des Weltmeistersautos wurde durch eine Haube ersetzt, die aus einem Kunststoffkern besteht, der von 0,2 Millimeter dünnen Stahlblech ummantelt ist. Gewichtsersparnis: 30 Prozent.

Diese Kombination verschiedener Werkstoffe nennt sich Hybridbauweise. Und genau diese Werkstoffe sollen in der Open-Hybrid-Lab-Factory entwickelt und zur



Verantwortliche und Kooperationspartner der Open-Hybrid-Lab-Factory (OHiaF) besiegelten ihre Zusammenarbeit gestern in Wolfsburg mit einem Vertrag (von links): OHiaF-Vorstand Armin Plath, Burkhard Heise (IAV), Gerhard Krachler (Magna), Werner Neubauer und Jürgen Lechold (beide VW), Jürgen Hesselbach (TU Braunschweig), Marco Barsacchi (Dow-Aksa), Peter Egger (Engel), Joachim Müller (ThyssenKrupp Steel Europe), Klaus Dillger (Siempelkamp) und Klaus Dillger (Siempelkamp).

der Mobilität zu sein.“ So habe das NFF eine Strahlkraft entwickelt, die europaweit sichtbar sei.

Dass die Open-Hybrid-Lab-Factory und mit ihr das NFF noch ein ganz anderes ehrgeiziges Ziel verfolgen, nämlich das Zusammenwachsen der Region, verdeutlichen Werner Neubauer, der im Vorstand der Marke Volkswagen das Geschäftsfeld Kompoerte verantwortet, und Wolfsburgs Oberbürgermeister Klaus Mohr. Denn in diesem Punkt sieht die



Wie bereits im *ifj* Report (Ausgabe 2, 2012) berichtet, ist es uns im Herbst 2012 gelungen, ein neues Kapitel zum bezahlbaren Leichtbau durch die erfolgreiche Beteiligung am Wettbewerb „ForschungsCampus – öffentliche-private Partnerschaft für Innovationen“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) aufzuschlagen. Mit unserer Bewerbung, der „Open Hybrid LabFactory – Materialentwicklung und Produktionstechnik für den wirtschaftlichen und multifunktionalen Leichtbau“, konnten wir die Jury überzeugen und wurden aus über 90 bundesweiten Bewerbungen ausgewählt.

Diese einmalige Chance für den Forschungsstandort Braunschweig/Wolfsburg wird seitdem umgesetzt, und der erste Meilenstein der Open Hybrid LabFactory wurde mit dem erfolgreichen Abschluss der einjährigen Vorphase im März 2014 erreicht. Innerhalb der Vorphase wurden die ersten Forschungsarbeiten, und zwar die drei Initialprojekte

- **ProVor** Funktionsintegrierte Prozesstechnologie zur Vorkonfektionierung von FVK-Metall-Hybriden
- **MultiMaK** Entwicklung von Design- und Bewertungstools für nutzungsgerechte ökologisch optimierte Multi-Material-KFZ-Bauteilkonzepte in der Großserie
- **TRoPHy** Thermoplastische, rollgeformte Profile in Hybridbauweise

bearbeitet und erste Forschungsergebnisse erzielt. Die Ergebnisse wurden bereits in die Anträge der Folgeprojekte, die zusammen mit dem Fortschrittsbericht als Zusammenfassung der Vorphase ebenfalls im März 2014 beim Projektträger abgegeben wurden, integriert. Als Gesellschaftsform für die Open Hybrid LabFactory wurde der Verein gewählt und am 27.05.2013 von zunächst natürlichen Personen gegründet. Am 29.11.2013 traten dann die Vollmitglieder, das sind die Mitglieder des Vereins, die sich über die normale Projektarbeit hinaus in der Open Hybrid LabFactory engagieren wollen, in den Open Hybrid LabFactory e.V. in einer offiziellen Zeremonie ein. Zu den Vollmitgliedern zählen die **Volkswagen AG**, die **BASF SE**, die **DowAksa Advanced Composites Holdings B.V.**, die **Magna International Europe**, die **Engel Deutschland GmbH**, die **IAV GmbH**, die **ThyssenKrupp Steel Europe AG** und die **Siempelkamp GmbH & Co. KG**. Darüber hinaus hat die **Fraunhofer-Gesellschaft** die Vollmitgliedschaft beantragt. Dieser gemeinsame öffentlich wirksame Auftritt der Wirtschaft und der Wissenschaft veranschaulicht die vom BMBF im Rahmen der Förderinitiative „Forschungscampus“ geforderte „PPP“ (public-private partnership).

Entsprechend der Satzung des Vereins fand dann im Folgenden die erste konstituierende Beiratssitzung am 14.05.2014 statt, der satzungsgemäß alle Vollmitglieder angehören. Zum Vorsitzenden des Beirats wurde

Professor Werner Neubauer, Mitglied des Markenvorstands Volkswagen, Geschäftsbereich Komponente, gewählt. Sein Stellvertreter im Beirat ist Professor Jürgen Hesselbach, Präsident der TU Braunschweig. Über diesen Beirat wird den Vollmitgliedern die Möglichkeit gegeben, die zukünftigen Forschungsinhalte und -projekte aktiv mitzugestalten. Die Beiratssitzung fand im MobileLifeCampus (MLC) in Wolfsburg statt, in dem sich bereits die Geschäftsstelle des Vereins sowie die vom NFF, dem Niedersächsischen Forschungszentrum Fahrzeugtechnik, bereitgestellten Büro- und Technikumsflächen befinden.

mit ein Grundstück neben dem MLC. Nicht zuletzt aufgrund des erheblichen öffentlichen und industriellen Interesses wurde als Standort der Hagenberg gewählt. Der MLC beherbergt neben dem NFF bereits Teile der Volkswagen AG, wie die konzerneigene Weiterbildungseinrichtung AutoUni und Bereiche der Volkswagen Konzernforschung. In direkter Nachbarschaft ist ferner das Forum Autovision angesiedelt, in dem bereits heute Großunternehmen mit mittelständischen Firmen sowie Forschungs- und Entwicklungspartnern – wie beispielsweise der Hochschule Ostfalia – kooperieren.



Bild 1: Die Vollmitglieder der konstituierenden Beiratssitzung vom 14.5.2014

Der Beirat: Ute Spring (DowAksa Advanced Composites Holdings B.V., R&D Director) 6. v. l., Prof. Dr. Werner Neubauer (Volkswagen AG, Mitglied des Markenvorstands, Geschäftsbereich Komponente) 7. v. l., Thomas Papenheim (IAV GmbH, Bereichsleiter Sicherheit & Exterieur, VB Geschäftsbereich Vehicle) 8. v. l., Herr Christopher Vitz (Engel Deutschland GmbH, Geschäftsführer) 10. v. l., Prof. Dr. Hans Ferkel (ThyssenKrupp Steel Europe AG, Direktor Technologie und Innovation) 12. v. l., Prof. Dr. Jürgen Hesselbach (TU Braunschweig, Präsident) 13. v. l.

Der MLC liegt direkt neben dem für das Gebäude der Open Hybrid LabFactory gewählten Grundstück. Anfänglich standen für das Gebäude drei Grundstücke zur Auswahl: GE Westerlinge, ein Grundstück neben dem Forum Autovision sowie der Hagenberg und so-

Der Neubau der Open Hybrid LabFactory wird südöstlich des bereits bestehenden Gebäudes entstehen und soll mit dem MLC verbunden werden. So ist eine unmittelbare Vernetzung mit den Räumlichkeiten des NFF und der AutoUni gegeben. Zudem können die Ausstellungs-, Repräsentations- und Kommunikationsflächen des Bestandsgebäudes mitgenutzt werden. Mit der durch das Architekturbüro HENN durchgeführten Konzeptplanung ging ein Entwicklungsprozess sowohl das Gebäude und den Standort als auch die zur Verfügung stehenden Flächen betreffend einher. So wurde das Gebäude an den östlichsten Rand des Hagenbergs geschoben, um zum einen die Sichtbarkeit zu gewährleisten und zum anderen die Erschließungskosten möglichst gering zu halten. Das Aussehen des Gebäudes wurde dabei an Design und Konzept des MLC angepasst.

Die TU Braunschweig wird beide Gebäude nutzen, um vor Ort sowohl studentische Ausbildung als auch Abschlussarbeiten und Promotionen zu betreuen, und somit eine Niederlassung der TU Braunschweig in Wolfsburg etablieren. Das Ziel eines universitären Campus wird damit verwirklicht und die noch intensivere Zusammenarbeit aller Partner ermöglicht. Zusätzlich wird die Open Hybrid LabFactory durch die Ansiedelung der Fraunhofer-Gesellschaft am Standort Wolfsburg sowie deren Integration in den Open Hybrid LabFactory e. V.

Durch das starke Engagement in der Open Hybrid LabFactory wollen alle beteiligten Partner die Voraussetzungen dafür schaffen, dass sich innovative kleine und mittelständische Unternehmen mit einem begrenzten finanziellen Beitrag bei der Entwicklung von Zukunftstechnologien einbringen können und somit die Grundlage für den Aufbau neuer Geschäftsfelder in einem engen Verbund der Unternehmen schaffen.

Hinzu kommen, neben den hoch innovativen mittelständischen Partnern, weltmarkt-



Bild 2: Grundstücksoption für die Ansiedlung der Open Hybrid LabFactory

verstärkt. Das Engagement der Fraunhofer-Gesellschaft wird in Form eines Projektzentrums geplant und stellt innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft ein neues Organisationsmodell dar. Dieses Organisationsmodell wurde mit dem Ziel gewählt, die Kompetenzen mehrerer Fraunhofer-Institute im Bereich des ressourcenschonenden und kostengünstigen Leichtbaus an einem gemeinsamen Standort zu bündeln. Durch diese Integration wird die Open Hybrid LabFactory mit komplementären Forschungsthemen erweitert.



Bild 3: Konzeptentwurf des Open Hybrid LabFactory Gebäudes des Architekturbüros HENN (Quelle: HENN)

führende Firmen, die – meist exklusiv – Ressourcen und Kompetenzen dem Verbund zur Verfügung stellen. So entsteht an diesem Standort in Wolfsburg ein einzigartiges Innovationszentrum für Werkstoffe und Produktionstechnologien für den wirtschaftlichen Leichtbau der Zukunft.

Autor und Ansprechpartner:
Dr. rer. nat. Fabian Fischer
fabian.fischer@tu-braunschweig.de

Laserstrahlschweißen im Unterdruck – ein zukünftiges, hoch effizientes Schweißver- fahren für Bauteile mit höchsten Anforderungen an Schweißnahtqualität und geringe Spritzerbil- dung

Unter Tiefdruck (Teil 2)

Moderne Festkörperlaser hoher Brillanz (Scheiben- und Faserlaser) bieten in vielen Anwendungsfeldern ein hohes Anwendungspotenzial. Neben dem hohen elektrischen Wirkungsgrad kann der Strahltransport bei der Wellenlänge um $1\ \mu\text{m}$ über Lichtleitkabel erfolgen, wodurch eine einfache Integration der Laserstrahlung in eine Bearbeitungsmaschine möglich ist. In der Praxis kann das Anwendungspotenzial bis heute jedoch nicht voll ausgeschöpft werden, insbesondere an Bauteilen mit hohen Qualitätsanforderungen an Schweißnaht und geringe Spritzerbildung. Hochqualitative Schweißnähte werden in einem breiten Spektrum von Anwendungen nachgefragt, beispielsweise bei Powertrain-Anwendungen im Automobilbau oder im Schiffbau.

Aktuell werden am ifs in dem öffentlich geförderten Forschungsvorhaben „LaReD“ (IGF 17.560 | DVS 06.084) Untersuchungen durchgeführt, das Potenzial von hochbrillanten Laserstrahlquellen auszunutzen und die Qualität der damit erzeugten Fügeverbindungen zu erhöhen. Es soll somit ermöglicht werden, derartige moderne Festkörperlaser, die im industriellen Einsatz anderen Strahlquellen (CO_2 -Laser, Elektronenstrahl) aufgrund ihrer hohen Energieeffizienz und Flexibilität vorgezogen werden, auch in Zukunft für Bauteile mit gehobenen bis höchsten Anforderungen an die Schweißnahtqualität verwenden zu können. Die Prozessumgebung eines Unterdrucks während des Schweißvorgangs sorgt hier für den entscheidenden Unterschied bei der Herstellung von hochqualitativen Schweißnähten. In diesem Zusammenhang soll betont werden, dass im Folgenden nicht von einem Vakuum (vgl. Elektronenstrahlschweißen) ausgegangen wird, sondern lediglich von einem Unterdruck. Die Merkmale der Qualitätsverbesserung beim Schweißen finden bereits unter reduziertem Druck von ca. 100 mbar statt und sind in einem Druckbereich von 10 bis 1 mbar vollständig abgeschlossen.

Während des Laserstrahlschweißprozesses mit Festkörperlasern unter Atmosphärendruck entsteht durch die hohe Intensität im Fokus lokale Verdampfung, die die Ausbildung eines *Keyholes* bzw. einer Dampfkapillare nach sich zieht. Der Metaldampf strömt mit einem hohen Überdruck aus dem *Keyhole* aus, und es kommt zu einer starken Metaldampfbildung, die oberhalb der Fügezone durch eine helle Leuchterscheinung wahrgenommen werden kann. In diesem Zusammenhang wird auch von einer Metaldampffackel gesprochen. Die helle Leuchterscheinung der Metaldampffackel, die auch mit bloßem Auge sichtbar ist, wird durch die Temperaturstrahlung kondensierter Partikel im Schweißrauch hervorgerufen. Nach oben aufsteigender Schweißrauch und die darin enthaltenen Partikel absorbieren einen Teil der Laserstrahlung. Dadurch findet eine Wechselwirkung zwischen einfallender Laserstrahlung und den kondensierten Partikeln im Schweißrauch statt.

Aufgrund der stark erhitzten Partikel entstehen im Schweißrauch große Temperatur- und Brechungsindexgradienten. Hierdurch entsteht eine thermische Linse, die eine Ablenkung der Laserstrahlung und eine Veränderung des Strahlprofils, der Intensitätsverteilung sowie der Fokusslage bewirkt. Die Beeinflussung des Laserstrahls durch dessen Interaktion mit der Metaldampffackel wurde am ifs anhand von Testlaserstrahlung nachgewiesen. Eine deutliche Streuung der sichtbaren Laserstrahlung auf ein Target resultiert aus dieser Wechselwirkung. Durch Absenkung des Umgebungsdrucks findet eine deutliche Reduzierung der grellen Leuchterscheinung der Metaldampffackel statt (vgl. ifs report | Ausgabe 1 | 2012).

In einem Druckbereich von 10 mbar und darunter ist das starke Leuchten praktisch nicht mehr zu erkennen. Zudem kann in diesem Druckbereich keine Beeinflussung durch Streuung des sichtbaren Testlaserstrahls mehr identifiziert werden. Die im Unterdruck geringere Verdampfungstemperatur von Eisen bedingt ebenfalls geringere Temperaturen der Metaldampfpartikel und lässt diese mit geringerer Intensität leuchten. Ferner wird der Metaldampf beim Austreten aus dem *Keyhole* nun weit weniger durch Luftmoleküle abgebremst und kann so ungehindert und gerichtet nach oben austreten. Die Wechselwirkung zwischen Laserstrahl und Metaldampf wird beim Schweißen im Unterdruck derart unterdrückt, dass sich dadurch verschiedene charakteristische Besonderheiten im Schweißprozess bzw. Schweißergebnis einstellen, die im Folgenden anhand von Durchschweißungen in 10 mm dickem Einsatzstahl der Güte 16MnCr5 beschrieben werden.

Ein Vorteil des Unterdruck-Schweißens liegt in der erheblichen Reduzierung des Wärmeeintrags in das zu schweißende Bauteil. Es besteht die Möglichkeit, über 40 % an Laserleistung bei unveränderter Schweißtiefe einzusparen. Bei einer Schweißgeschwindigkeit von 0,5 m/min und einem Druck von 10 mbar wird lediglich eine Laserleistung von 2750 W für eine 10 mm Durchschweißung benötigt. Unter atmosphärischen Bedingungen sind hingegen 4750 W notwendig, um das Material durchzuschweißen. Somit ist im Dickblechbereich ein Schweißen im Unterdruck mit erheblich weniger Energieeintrag möglich, was im Ergebnis zu einer geringeren thermischen Belastung und geringeren Verzügen führt.

Infolge des geringeren Energieeintrags beim Laserstrahlschweißen im Unterdruck entstehen auch Veränderungen in der Schweißnahtgeometrie, die im Bild 1 anhand von makroskopischen Schliffbildern dargestellt sind. Breite Nähte mit starker Nahtunterwölbung und Wurzelüberhöhung entstehen unter atmosphärischen

Schweißbedingungen, welche lediglich die Bewertungsgruppe D nach DIN EN ISO 13919-1 erfüllen. Durch Drucksenkung auf 10 mbar entsteht eine sehr schmale Naht mit parallelen Flanken ohne nahtgeometrische Unregelmäßigkeiten der höchsten Bewertungsgruppe B. Als Ursache für dieses Verhalten kann die beschriebene Unterdrückung der Metaldampffackel beim Schweißen im Unterdruck herangezogen werden. Es findet keine Wechselwirkung zwischen Laserstrahl und Fackel mehr statt, was dazu führt, dass die einfallende Strahlung keiner Streuung unterliegt und auf einen kleineren Werkstückbereich auftrifft. Im Ergebnis entsteht eine höhere Intensität auf dem Werkstück, wodurch die Erzeugung tieferer und schmalerer Nähte gewährleistet ist bzw. eine Reduktion der Laserleistung erreicht werden kann.

Im Umkehrschluss bedeutet die Einsparung an Laserleistung beim Schweißen im Unterdruck gleichzeitig eine Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit. Mit der am *ifs* verfügbaren Laserleistung von 6000 W ist es unter atmosphärischen Bedingungen möglich, den 10 mm dicken Werkstoff mit einer Schweißgeschwindigkeit von 0,75 m/min durchzuschweißen. Laserstrahlschweißen im Unterdruck führt dagegen zu einer Steigerung der Geschwindigkeit um den Faktor 2 bis 3. Durchschweißungen mit einem Vorschub von 2,0 m/min sind hier möglich. Zudem wird die Schweißnahtqualität im Vergleich zu niedrigen Geschwindigkeiten nochmals erheblich gesteigert, wobei die Nahtgeometrie ebenfalls keine geometrischen Unregelmäßigkeiten aufweist (Bild 2).

Die Ergebnisse zeigen, dass hochqualitative Nähte unter atmosphärischen Bedingungen bei hohen Schweißgeschwindigkeiten auch mit steigender Laserleistung nicht erzielt werden, und somit eine Erhöhung der Prozessgeschwindigkeit durch derlei Maßnahmen bei gleichzeitig zufriedenstellenden Nahtqualitäten nicht erreicht werden kann.

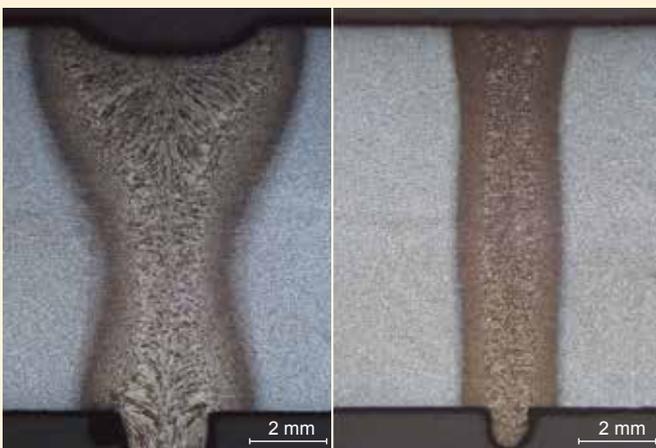


Bild 1: Metaldampffackel und Spritzerbildung beim Laserstrahlschweißen mit Festkörperlaser bei verschiedenen Drücken.
Links: 1000 mbar, rechts: 10 mbar (P = 4750 | 2750 W; v = 0,5 m/min; zF = -4 mm)



Bild 2: Querschliff einer hochqualitativen Schweißung im Unterdruck bei 10 mbar (P = 6000 W; v = 2,0 m/min; zF = -4 mm)

In einer weiteren Untersuchungsmethode erfolgte die Ermittlung der Qualität der Schweißnähte bezüglich der auftretenden Spritzerbildung mittels gravimetrischer Messungen der Schweißproben (Bild 3).

Eine Reduzierung des Druckes bis auf 10 mbar bzw. 1 mbar geht offensichtlich mit einer Reduzierung der Spritzerbildung einher. Zudem lassen die charakteristischen Verläufe eine Reduzierung der Spritzerbildung mit steigendem Vorschub erkennen. Die Reduzierung der Spritzerbildung im Unterdruck, welche insbesondere bei hohen Schweißgeschwindigkeiten auftritt, ist erneut auf die Unterdrückung der Metalldampffackel zurückzuführen. Hochgeschwindigkeitsaufnahmen belegen, dass bei atmosphärischen Schweißungen deutliche Ablösungen von Spritzern aus dem Schmelzbad zu beobachten sind. Hier übt der abströmende Metalldampf impulsartige Kräfte auf die Kapillarrückwand aus und führt dadurch zur Spritzerablösung. Im Unterdruck weist die *Keyhole*-Öffnung, insbesondere bei hohen Vorschubgeschwindigkeiten, eine langgezogene Charakteristik auf, wodurch eine ungehinderte Abströmung des Metalldampfes gewährleistet ist. Der Metalldampf strömt aus der Kapillare ohne Kontakt mit der Rückwand ab und sorgt dafür, dass der Impuls, der für die Spritzerbildung verantwortlich ist, nicht bzw. nur in geringerem Maße auftritt.

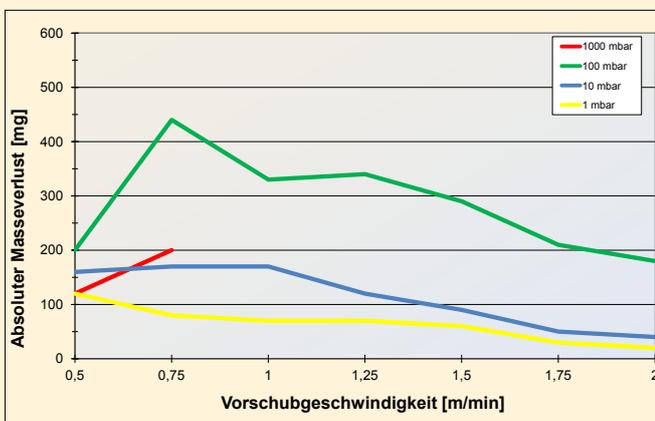


Bild 3: Quantifizierung der Spritzerbildung über den Masseverlust der Schweißproben in Abhängigkeit von Schweißgeschwindigkeit und des Druck

Durch die deutlich reduzierte Spritzerbildung infolge einer unterdrückten Metalldampffackel stellt sich darüber hinaus eine veränderte Schmelzbadynamik ein. Im Unterdruck verläuft der Schweißprozess ruhiger ohne schwappende oder fluktuierende Bewegungen der flüssigen Schmelze. Durch das Einbringen von Fremdmaterial in die Schmelze und anschließende Seigerungsätzung am Längsschliff konnten sichtbare Unterschiede in der Durchmischung im Schweißgut identifiziert werden,

Bild 4 zeigt die metallographisch präparierten Proben, die auf ein homogenes Strömungsverhalten der Schmelze im Unterdruck schließen lassen.



Bild 4: Veränderung der Schmelzbadynamik in Abhängigkeit vom Druck (links: 1000 mbar; rechts: 10 mbar) ($P = 4750 \text{ | } 2750 \text{ W}$; $v = 0,5 \text{ m/min}$; $z_F = -4 \text{ mm}$)

Die hier vorgestellten Untersuchungen zeigen deutlich, dass das Schweißen im Unterdruck mit Festkörperlasern enormes Potenzial einer Qualitätsverbesserung hinsichtlich Spritzerbildung und Schweißnahteigenschaften bietet.

Die Anwendungsgrenzen moderner hochbrillanter Strahlquellen können bezüglich ihrer nutzbaren Schweißgeschwindigkeit deutlich angehoben werden. Somit resultiert daraus neben dem Aspekt der Qualitätsverbesserung auch ein unmittelbarer wirtschaftlicher Mehrwert. Aufgrund der genannten Vorteile ist zu erwarten, dass das Verfahren, insbesondere bei Applikationen mit hohen Anforderungen an Nahtqualität und geringe Spritzerbildung, in den nächsten Jahren Einzug in den Markt finden wird. Bereits während des laufenden Projektzeitraums konnten die Vorzüge des Laserstrahlschweißens im Unterdruck Industrieunternehmen vermittelt werden, sodass zum jetzigen Zeitpunkt erste Kundenanfragen für Schweißbauteile mit diesem Verfahren vorliegen.

Autoren:

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Christian Börner

Dr. rer. nat. Fabian Fischer

Ansprechpartner:

ch.boerner@tu-braunschweig.de

Abschätzung mechanischer Kenngrößen mittels instrumentierter Eindringprüfung

Mechanische Werkstoffkenngrößen, wie beispielsweise die Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung, werden heutzutage vorrangig mit Hilfe des Zugversuchs ermittelt. An Schweißverbindungen sind solche Zugversuche jedoch nur bedingt aussagekräftig, da das Schweißen immer mit einer örtlich begrenzten, starken Wärmeeinbringung verbunden ist, die in einem mehr oder weniger breiten Bereich neben der Schweißnaht zu einem lokalen Glühprozess mit unterschiedlichen Spitzentemperaturen und somit zu mikrostrukturellen Veränderungen führt. Die verfahrensbedingte Erwärmung der Wärmeeinflusszone kann bspw. bei ausscheidungsgehärteten Aluminiumlegierungen, die ihre Festigkeitssteigerung durch eine gezielte Wärmebehandlung erlangen, einen inhomogenen Rekristallisationsprozess hervorrufen, der sich in einem merklichen Verlust der ursprünglichen mechanischen Eigenschaften in diesem Bereich äußert. Vor dem Hintergrund, dass diese lokalen Entfestigungsbereiche das elastisch-plastische Verformungsverhalten der Verbindung entscheidend bestimmen, ergibt sich die Notwendigkeit einer orts aufgelösten Bestimmung mechanischer Kennwerte. Mit Hilfe des einfachen Zugversuchs kann der beschriebene lokale Festigkeitsabfall in der Wärmeeinflusszone nur mit sehr großem Aufwand quantifiziert werden.

Der Literatur können verschiedene Ansätze zur Ermittlung lokaler Werkstoffeigenschaften entnommen werden. Ein großer Teil dieser Arbeiten versucht anhand von Eindringversuchen mechanische Kennwerte abzuschätzen. Dies reicht von der einfachen Umwertung ermittelter Härtewerte in Zugfestigkeiten bis zur detaillierten Beschreibung des Spannungs-Dehnungs-Verhaltens durch eine Auswertung des elastisch-plastischen Verhaltens während des Eindringversuchs. Letzteres wird erst durch die Verfügbarkeit von Systemen, die nach dem Messprinzip der instrumentierten Eindringprüfung arbeiten, ermöglicht.

Die instrumentierte Eindringprüfung ähnelt einer konventionellen Härtemessung. Während jedoch die konventionelle Härtemessung auf die Bestimmung der Härte, eine plastische Materialeigenschaft, begrenzt ist, stehen durch eine instrumentierte Eindringprüfung auch Informationen über die elastischen Verformungsanteile während des Prüfkörpereindrucks zur Verfügung. Das Messprinzip basiert auf dem Aufbringen eines definierten Kraftverlaufs innerhalb eines vorgegebenen Zeitintervalls. Sowohl während

der Be- als auch während der Entlastung werden die Prüfkraft und die Eindringtiefe gleichzeitig und kontinuierlich erfasst. Die messtechnische Auflösung des elastischen Rückfederns des Materials bei der Entlastung bildet die Grundlage für die Beschreibung elastisch-plastischen Verhaltens des untersuchten Werkstoffs. Die aufgezeichneten Kraft-Eindring-Kurven (Bild 1) bilden die Basis für anschließende Berechnungen der mechanischen Werkstoffkennwerte.

In der Literatur sind Methoden zu finden, die unterschiedliche Ansätze verfolgen. So wird beispielsweise dargestellt, dass für verschiedene Werkstoffe eine direkte Proportionalität zwischen der Bruchdehnung und dem plastischen Verformungsanteil während der Eindringprüfung besteht, was eine Abschätzung der Bruchdehnung mittels instrumentierter Eindringprüfung ermöglicht [Hee96].



Messsystem zur instrumentierten Eindringprüfung, Fischerscope HM2000 (Bildquelle: Helmut Fischer GmbH, Sindelfingen)

Andere Arbeiten verfolgen das Ziel, klassische Werkstoffkennwerte – vorrangig die Streckgrenze – anhand instrumentierter Eindringprüfungen bestimmen zu können, um so Zugversuche zu ersetzen. Hierbei sind vor allem die Arbeiten von Giannakopoulos et al. [Gia99] sowie von Dao et al. [Dao01] zu erwähnen, die Methoden zur schrittweisen Bestimmung aller notwendigen Hilfsgrößen zur Bestimmung der Streckgrenze bereitstellen.

Die für die Berechnung benötigten Eingangsgrößen können direkt aus der aufgenommenen Kraft-Eindring-Kurve bestimmt werden. Beide Arbeiten basieren auf der numerischen Beschreibung des Eindringversuchs und leiten daraus Berechnungsvorschriften zur Bestimmung der Streckgrenze und des Verfestigungsexponenten ab.

Im Rahmen eines am Institut für Füge- und Schweißtechnik durchgeführten Forschungsvorhabens konnte gezeigt werden, dass das Verformungsverhalten von Schweißverbindungen aus kaltverformten oder ausscheidungsgehärteten Aluminiumlegierungen im Wesentlichen vom Werkstoffzustand in der Wärmeeinflusszone abhängt. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass der Schweißprozess bei ausscheidungsgehärteten Aluminiumlegierungen (bspw. EN AW 6082) zu einer örtlich begrenzten Entfestigung in der Wärmeeinflusszone führt. Verformungsmessungen unter Einsatz der optischen Grauwertkorrelation zeigten einen deutlichen Zusammenhang zwischen der eintretenden plastischen Verformung unter quasi-statischer Zugbeanspruchung und der aus dem Schweißprozess herrührenden Entfestigung. Es kann also davon ausgegangen werden, dass das Verformungsverhalten solcher Schweißverbindungen primär von der inhomogenen Eigenschaftverteilung in der Wärmeeinflusszone abhängt.

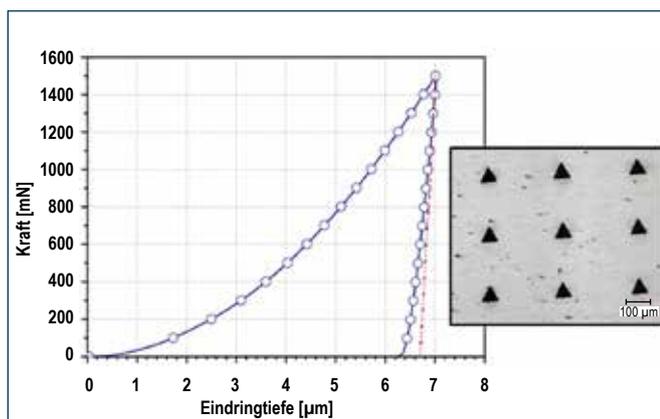


Bild 1: An einer Aluminiumlegierung (EN AW 6082) aufgezeichnete Kraft-Eindring-Kurve unter Verwendung eines Berkovich-Indenters

Eines der Ziele des Forschungsvorhabens war die numerische Beschreibung des durch die Entfestigung bedingten Verformungsverhaltens mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode. Um Aussagen zum Verformungsverhalten treffen zu können, müssen elastisch-plastische Berechnungen durchgeführt werden. Um dies zu ermöglichen, wurde eine bilineare Materialannahme getroffen.

Erste Untersuchungen haben ergeben, dass im Fall einer vorliegenden Entfestigung neben der Schweißnaht das Verformungsverhalten nicht mit einer Annahme einheitlicher Eigenschaften auf Grundwerkstoffniveau abgebildet werden kann. Die in Bild 2 dargestellten Dehnungsverteilungen weisen klare Unterschiede auf. So ergibt sich durch die numerische Analyse keine Dehnungskonzentration in der Wärmeeinflusszone. Dies verdeutlicht, dass für eine hinreichend genaue numerische Abbildung des unter Beanspruchung auftretenden Verformungsverhaltens die Kenntnis der lokalen Werkstoffeigenschaften, insbesondere der lokalen Streckgrenze, unabdingbar ist.

Im Prinzip bietet die instrumentierte Eindringprüfung die Möglichkeit, lokal mechanische Kennwerte zu bestimmen. Aufgrund der geringen Prüfkraft ($\leq 2\text{N}$), die bei diesem Verfahren eingesetzt werden, können die für die Berechnungen notwendigen Kraft-Eindring-Kurven mit einer hohen Ortsauflösung aufgenommen werden, so dass eine genauere Betrachtung der örtlich begrenzten Entfestigungen in der Wärmeeinflusszone möglich wird. Zur Auswertung der lokalen Streckgrenze wurde der „Reverse Analysis Algorithm“ [Dao01] nach Dao et al. verwendet. In [Dao01] wurde die Anwendbarkeit der vorgeschlagenen Methodik an zwei ausscheidungsgehärteten Aluminiumlegierungen nachgewiesen, was vermuten lässt, dass die vorgeschlagene Methodik für die in dieser Arbeit verwendeten Werkstoffe eine zutreffende Abschätzung der vorliegenden lokalen Streckgrenzen hinreichend genau erlaubt.

Bild 3 zeigt den aufgenommenen Verlauf der Streckgrenze am Querschliff einer WIG-Schweißung aus einer ausscheidungsgehärteten Aluminiumlegierung (EN AW 6082). Die Eindringversuche wurden in der Blechmitte entlang von sechs Pfaden quer zur Schweißrichtung vorgenommen. Im Bereich der Wärmeeinflusszone ist ein deutlicher Einbruch der ermittelten Streckgrenzen erkennbar. In einem Bereich mit einem Abstand von etwa 4 bis 5 mm zum Nahtübergang fallen die Streckgrenzen deutlich ab. Zum Grundwerkstoff hin nimmt die Streckgrenze kontinuierlich zu, bis in einem Abstand von 18 mm zum Schweißnahtübergang das Grundwerkstoffniveau erreicht wird.

Zugversuche in Verbindung mit lokaler Dehnungsmessung, bspw. mittels Dehnungsmessstreifenketten oder Laserextensometrie, bieten ebenfalls die Möglichkeit, lokal die Streckgrenzen an einer Schweißverbindung zu bestimmen. Die Methoden sind jedoch zum einen beschränkt hinsichtlich ihrer Ortsauflösung, zum anderen lässt sich hiermit nicht die gesamte Wärmeeinflusszone charakterisieren. Während in den stark entfestigten Bereichen bereits hohe plastische Verformungen messbar sind, verhält sich der Werkstoff in Grundwerkstoffnähe noch elastisch, was dazu führt, dass keine Information über die lokale Streckgrenze zu ermitteln ist. Zur Plausibilitätskontrolle des mittels instrumentierter Eindringprüfung ermittelten Verlaufs wurden diese Methoden dennoch angewendet. Wie Bild 4 zeigt, konnten die aus den aufgezeichneten Kraft-Eindring-Kurven bestimmten Streckgrenzen

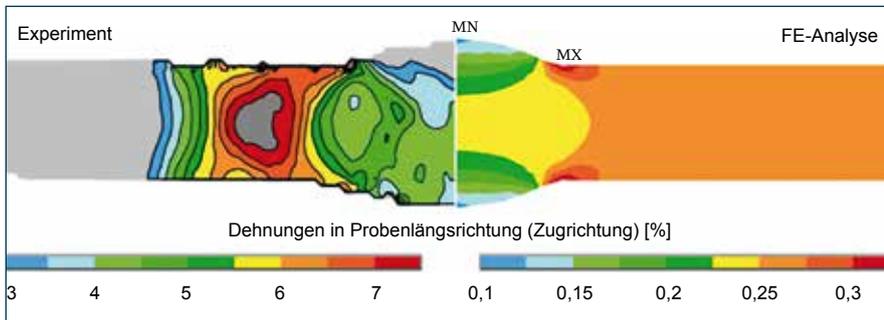


Bild 2: Vergleich der experimentell ermittelten (links) und berechneten (rechts) Dehnungsverteilung an einer WIG-Schweißung aus EN AW 6082 unter Zugbeanspruchung

Bild 3: Auf Basis instrumentierter Eindringprüfungen ermittelte Streckgrenzen in der Wärmeeinflusszone einer WIG-Schweißung aus EN AW 6082

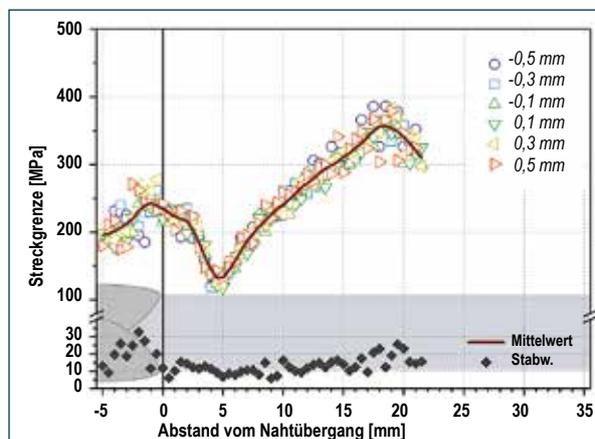


Bild 4: Vergleich der mittels verschiedener Messverfahren ermittelten Streckgrenzenverteilung an einer WIG-Schweißung aus EN AW 6082

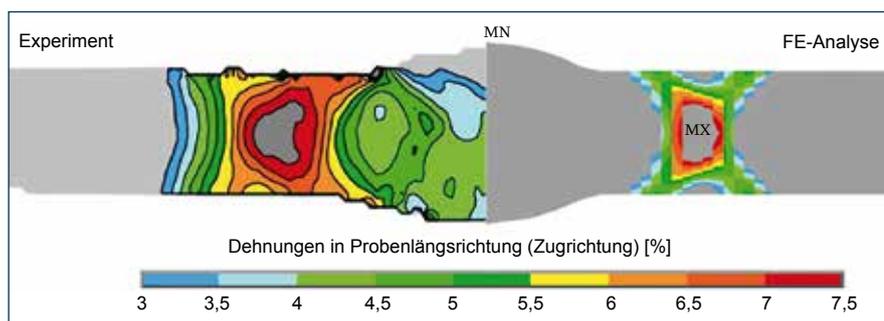
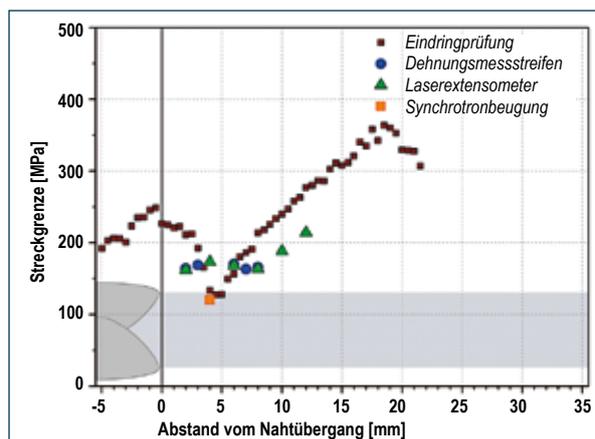


Bild 5: Vergleich der experimentell ermittelten (links) und der mit angepasstem Materialverhalten berechneten (rechts) Dehnungsverteilung unter Zugbeanspruchung

bestätigt werden. Es kann somit festgestellt werden, dass die instrumentierte Eindringprüfung im vorliegenden Fall eine hinreichend genaue Ermittlung der vorliegenden Streckgrenzen ermöglicht.

Numerische Untersuchungen, bei denen jedem der Elemente ein an die dargestellten Messungen angepasstes bilineares Materialmodell zugewiesen wurde (Bild 5), haben gezeigt, dass durch die Berücksichtigung der lokalen Festigkeitseigenschaften das Verformungsverhalten von Schweißverbindungen, die Entfestigungen neben der Naht aufweisen, besser abgebildet werden kann.

Abschließend ist anzumerken, dass eine Überführbarkeit der Versuchsmethodik auf weitere Werkstoffe (beispielsweise Stähle) noch nicht näher untersucht wurde. Somit kann auch hinsichtlich der Anwendbarkeit der instrumentierten Eindringprüfung zur Bestimmung mechanischer Kennwerte bislang noch keine allgemein gültige, werkstoffunabhängige Aussage getroffen werden.

[Da001] Dao, M.; Chollacoop, N.; Van Vliet, K. J.; Venkatesh, T. A.; Suresh, S.: "Computational modeling of the forward and reverse problems in instrumented sharp indentation"; 2001; *Acta Materialia*; Elsevier Science Ltd.

[Gi99] Giannakopoulos, A. E.; Suresh, S.: "Determination of Elastoplastic properties by instrumented sharp indentation"; 1999; *Scripta Materialia* Vol. 40; Elsevier Science Ltd.

[Heeg6] Heermant, C.; Dengel, D.: "Klassische Werkstoffkennwerte abschätzen"; 1996; *Materialprüfung* 38; Carl Hanser Verlag; München

Projektleiter und Ansprechpartner:
Dipl.-Ing. Michael Workowski
m.workowski@tu-braunschweig.de

Abteilung:
Festigkeit und Bauteilverhalten
Dr.-Ing. Thomas Nitschke-Pagel

Materialbearbeitung mittels Laser – erweiterte Forschungsmöglichkeiten am ifs

Der Einsatzbereich der Multi-Wellenlänge Laser-Mikrobearbeitungsstation ist insbesondere aufgrund des breiten Spektrums der zur Verfügung stehenden Wellenlängen vielseitig. Er reicht von der Strukturierung und dem Schneiden dünner Folien aus Metall über die Klebvorbehandlung verschiedener Werkstoffe bis hin zur Nutzung der Anlage im Bereich der zerstörungsfreien Prüfung.

Die bisher am ifs zur Verfügung stehenden Laserquellen werden vorwiegend zum Fügen und Trennen von Metallen eingesetzt, sind also anwendungsgemäß Systeme mit einer hohen mittleren Leistung ($> 1\text{kW}$). Für das Fügen und Trennen von Kunststoffen und sehr dünnen Metallfolien, wie sie in der Batteriefertigung oder auch für die Oberflächenbearbeitung eingesetzt werden, sind diese Laserquellen jedoch nicht verwendbar. Durch die Multi-Wellenlängen Laser-Mikrobearbeitungsstation (MuWeLa) wird die Möglichkeit geschaffen, auch diese Fragestellungen der Füge-technik in der Forschung am ifs zu betrachten. Die aus Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderte Anlage wurde in den vergangenen Monaten in den Laborräumen am Langen Kamp 19b aufgebaut und wird derzeit in Betrieb genommen.

Anlagenbeschreibung

Die Multi-Wellenlängen Laser-Mikrobearbeitungsstation (siehe Bild 1) besteht aus drei separaten, parallel nutzbaren Arbeitskammern, in denen verschiedene Bearbeitungsprozesse sowohl für Kunststoffe als

auch für Metalle durchgeführt werden können.

Für diese Bearbeitungsprozesse stehen vier verschiedene Laserquellen zur Verfügung, deren charakteristische Eigenschaften in Tabelle 1 aufgeführt sind. Während bei drei der vier Laserquellen die Strahlführung über ein Spiegelsystem erfolgt, findet bei der IR-Laserquelle die Strahlführung über eine Faser statt, welche es erlaubt, die emittierte Strahlung direkt in den Scanner einzuleiten. Durch die Verwendung der genannten Scanner ist es im Vergleich zu den bisher am ifs vorhandenen Systemen möglich, deutlich komplexere Konturen in kürzerer Zeit zu bearbeiten, da eine aufwändige Strahlführung mittels Roboter entfällt. Außerdem wird durch die schnelle Ablenkung im Laserscanner eine Bearbeitung von Oberflächen, wie sie zum Beispiel für die Klebvorbehandlung interessant ist, ermöglicht.

Zur Fokussierung der Laserstrahlung stehen des Weiteren zahlreiche Objektive bzw. Techniken zur Fokusverschiebung zur



Bild 1: Skizze der Multi-Wellenlänge Laser-Mikrobearbeitungsstation

Tabelle 1: Zur Bearbeitung bereitstehende Laserquellen

	Avia 355	Avia 532	G4 10-70W	Diamond E400
Wellenlänge	355 nm	532 nm	1064 nm	10600 nm
Pulslänge	15-25 ns	15-25 ns	09-250 ns	<1 μ s
Leistung	23 W	28 W	70 W	400 W

Verfügung, so dass die Größe der zu bearbeitenden Bauteile lediglich durch die Abmessungen der Arbeitskammern, nicht aber durch eine fixe Brennweite limitiert ist.

Geplante Einsatzfelder

Durch das bereitstehende Wellenlängenspektrum besteht eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten, da die Laserquelle abhängig vom Absorptionsverhalten der Materialien ausgewählt werden kann. Während beispielsweise Kupfer Strahlung im IR-Bereich (1064 nm) fast vollständig reflektiert, sind die meisten Kunststoffe für diese Wellenlänge nahezu transparent. Als Beispiel ist das Absorptionsspektrum eines thermoplastischen Kunststoffes (Polyphenylensulfid) in Bild 2 dargestellt. Es wird ersichtlich, dass mit den durch die Multi-Wellenlängen Laser-Mikrobearbeitungsstation zur Verfügung stehenden Wellenlängen sowohl Bereiche mit geringer (1064 nm) bzw. mittlerer Absorption (532 nm) abgedeckt werden als auch Bereiche, in denen das Material die Strahlung nahezu vollständig absorbiert (355 nm, 10600 nm).

Somit existiert für jede Laserquelle in Abhängigkeit von dem betrachteten Werkstoff ein unterschiedlicher Anwendungsfall.

Auf Faserverbundwerkstoffen mit PPS-Matrix können beispielsweise sowohl mit dem CO₂-Laser mit der Wellenlänge von 10600 nm als auch mit dem frequenzverdreifachten Festkörperlaser, welcher eine Strahlung im UV-Bereich (355 nm) emittiert, aufgrund der hohen Absorption in Kunststoffen definiert Matrix abgetragen und somit Bauteile zum Kleben effektiv vorbehandelt werden.

Der Einsatz verschiedener Wellenlängen ermöglicht darüber hinaus grundlegende Untersuchungen zu photothermischen und photochemischen Wechselwirkungen zwischen Laserstrahlung und bearbeitetem Material. Neben der Klebvorbehandlung bietet die Anlage durch die gute Fokussierbarkeit und hohe Strahlqualität der Laserquellen auch die Möglichkeit, durch höhere Pulsintensitäten auch ganze Faserlagen abzutragen und somit beispielsweise Schäftungsstrukturen für die Reparatur von CFK herzustellen.

Die Multi-Wellenlängen Laserbearbeitungsstation soll weiterhin für das Laserdurchstrahlschweißen verstärkter und unverstärkter thermoplastischer Kunststoffe eingesetzt werden und somit das Portfolio der Fügeverfahren für Kunststoffe am *ifs* ergänzen. Für dieses Verfahren ist beispielsweise der vorhandene Faserlaser mit einer Wellenlänge von 1064 nm ein geeignetes Werkzeug.

Trotz der vergleichsweise geringen mittleren Leistung kann das Großgerät auch zur Bearbeitung von Metallen genutzt werden (Aufnahme einer Arbeitskammer und des Strahlengangs in Bild 3). So arbeitet zum Beispiel der frequenzverdoppelte Festkörperlaser, d. h. eine „grüne“ Laserquelle mit einer Wellenlänge von $\lambda = 532$ nm, bei der Oberflächenbehandlung und -strukturierung von Metallen wie Kupfer aufgrund des Absorptionsverhaltens sehr effizient. Mit dieser Laserquelle können die Wechselwirkungen effektiv untersucht werden, was mit einem nicht frequenzkonvertierten Festkörperlaser aufgrund der hohen Reflektivität nicht möglich ist. Ebenso können mit den bereitstehenden Laserquellen Aluminiumoxidschichten entfernt und Aluminiumbauteile bearbeitet werden, sodass diese Anlage auch zur Oberflächenbehandlung von am *ifs* hergestellten Druckgussbauteilen genutzt werden kann.

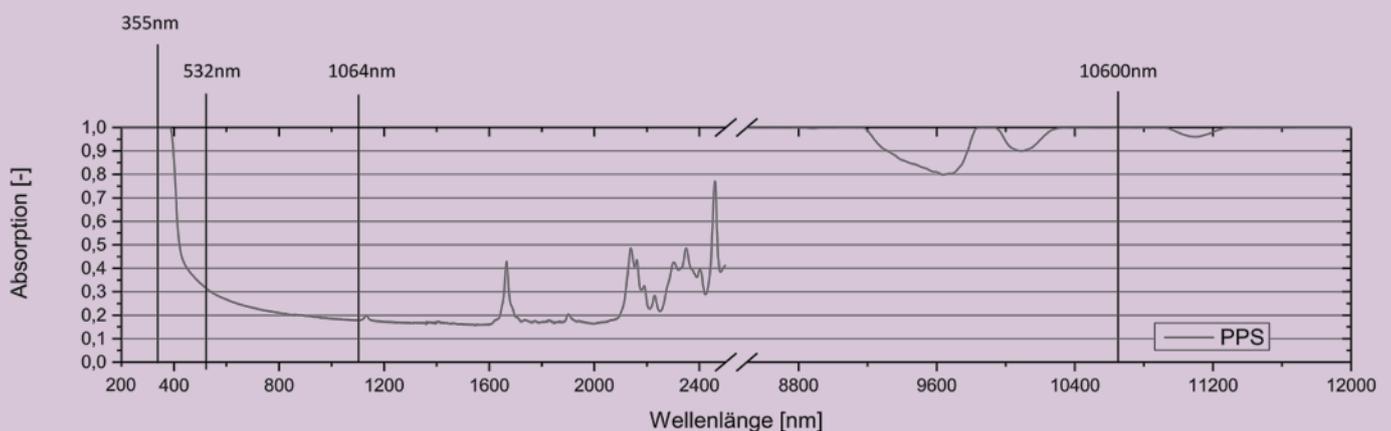


Bild 2: Absorptionsspektrum von Polyphenylensulfid (PPS)

Im Bereich der Metallbearbeitung ist der Einsatz von MuWeLa auch im Rahmen der „Battery LabFactory Braunschweig“ (BLB) durch die Abteilung Mikrofügen des *ifs* geplant. In der BLB wird das Ziel verfolgt, die gesamte Prozesskette in der Batterie-fertigung vom Aktivmaterial über die Elektroden und Zellen bis zum Batteriemodul an der TU Braunschweig abbilden zu können. Dabei werden die Einflussparameter jedes Fertigungsschrittes auf die Zellperformance untersucht, um die Effizienz großformatiger Hochleistungsbatterien für den Einsatz im Automobil zu steigern. Ein Ziel der Arbeiten des *ifs* ist dabei die Charakterisierung und Reduzierung von Schnittkantendefekten an Elektrodenfolien und -materialien sowie die Analyse des Degradationsprozesses an den Schnittkanten. Hier ist der Einsatzbereich der Multi-Wellenlänge Laser-Mikrobearbeitungsstation zu sehen. Es sollen hierzu Untersuchungen zum grat- und schädigungsfreien Lasertrennen der Elektrodenfolien erfolgen. Durch die eingesetzten Scanneroptiken wird dabei eine hohe Vielfalt an Foliengeometrien ermöglicht.

Neben der Nutzung der verschiedenen Laserquellen für die Bearbeitung unterschiedlicher Materialien eignen sich grundsätzlich alle Quellen für den Einsatz im Bereich der zerstörungsfreien Prüfung. Der Einsatz verschiedener Wellenlängen und Leistungen bietet daher ein breites Spektrum an möglichen Anwendungen. So kann mittels Laserstrahlung beispielsweise ein Material angeregt werden, sodass thermografische Verfahren (z. B. Lock-in-Thermografie) anwendbar sind, oder es können Ultraschallwellen induziert werden, die Rückschlüsse auf Fehlstellen im Bauteil geben können. Auch in diesem Bereich zeigt sich wiederum der positive Effekt der Vielseitigkeit der Anlage, da grundlegende Untersuchungen bezüglich der Wechselwirkungen zwischen Werkstoff und Laserquelle durchgeführt und deren Einfluss auf die Detektionsgenauigkeit in Abhängigkeit von Wellenlänge und Leistung bestimmt werden können.

Fazit

Mit den bereitstehenden Laserquellen ist es möglich, nahezu das gesamte Wellenlängenspektrum vom UV- bis in den mittleren IR-Bereich abzudecken, wodurch eine vielseitige Einsetzbarkeit der Anlage gewährleistet werden kann und verschiedene Abteilungen des *ifs* an der Anlage partizipieren können.



Bild 3: Bearbeitungskammer und Strahlengang für die Metallbearbeitung (Laserquellen mit 532 und 1064 nm).

Danksagung und Förderhinweis

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft und dem Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur für die Förderung der Multi-Wellenlänge Laser-Mikrobearbeitungsstation (MuWeLa).

Autoren:

M.Sc. David Blass

Dr. rer. nat. Fabian Fischer

Ansprechpartner:

d.blass@tu-braunschweig.de

Einsatz von Laserstrahlung bei der Reparatur von Faserverbundstrukturen



Quelle: SLCR GmbH

Bild 1: Durch Laserabtrag hergestellte geschäftete Struktur

Motivation & Ausgangslage

Durch die Einführung dieser Werkstoffklasse ergeben sich neben den vielen Vorteilen auch erhebliche Herausforderungen, sowohl während der Herstellung der Produkte, beispielsweise im Bereich der werkstoffgerechten Fügetechniken, als auch während des Produktlebens. Hierbei ist besonders die Entwicklung angepasster Reparaturkonzepte für Faserverbundwerkstoffe zu nennen. Ziel des Forschungsprojektes IrLaRep ist es daher, die Eignung von Laserstrahlung im mittleren IR-Bereich zur Klebvorbehandlung und zum Erzeugen von Schäftungsgeometrien für die strukturelle Reparatur von Faserverbundwerkstoffen zu untersuchen.

Besonders bei großen und kostenintensiven Faserverbundbauteilen, wie sie im Flugzeugbau vorkommen, kann die Notwendigkeit zur lokalen Reparatur bereits während des Herstellungsprozesses auftreten. Eine werkstoffgerechte Reparatur dieser Bauteile lässt sich durch das Einkleben angepasster Reparaturflecken in das mit einer Stufenstruktur versehene Bauteil erzielen. Eine solche Struktur ist in Bild 1 dargestellt. Diese Schäftungen werden aktuell durch einen manuellen Schleifprozess mit entsprechenden Abtragschablonen hergestellt, je nach Bauteildicke und Schadensgröße kann dieser Vorgang bis zu 12 Arbeitsstunden in Anspruch nehmen.

Auch in Bereichen, in denen für eine Reparatur keine Schäftungen notwendig sind, ist vor dem Kleben eine Behandlung der Oberflächen notwendig, um Kontaminationen, wie Trennmittel aus dem Produktionsprozess, oder im Bauteilleben auftretende Verschmutzungen, wie Kühlmittel, Hydraulikflüssigkeit, Fette etc., zu entfernen. Eine in der Fertigung gängige Methode, das während der Herstellung in die Oberfläche einlamierte Gewebe (Peel-Ply) zu entfernen, kann naturgemäß im Reparaturfall nicht angewendet werden. In diesen Fällen erfolgt die Oberflächenvorbehandlung wiederum durch manuelles Schleifen. Dies hat zum einen den Nachteil, dass der Abtrag nur bedingt reproduzierbar ist, zum anderen sind die Prozessgeschwindigkeiten begrenzt und häufig Folgeprozesse notwendig, um die Abtragprodukte sicher zu entfernen.

Motivation zum Einsatz der TEA-CO₂ Laserquelle & Vorgehen im Projekt

Im AiF ZIM Projekt IrLaRep untersucht das ifs gemeinsam mit der SLCR Lasertechnik GmbH die Möglichkeit, TEA-CO₂ (transversely excited atmospheric pressure) Laserquellen zur Klebvorbehandlung und zum Erzeugen von Schäftungsstrukturen einzusetzen. Für den Einsatz dieser Laserquellen sprechen zwei wesentliche Gründe. Zum einen hat die von dieser Quelle emittierte Wellenlänge der Laserstrahlung von 10,6 µm den Vorteil, dass die verwendete Epoxidharzmatrix für diese eine hohe Absorption aufweist, die Wechselwirkung also im Gegensatz zur Bearbeitung mit Laserstrahlung im N-IR Bereich direkt mit der Matrix stattfindet. Dies bietet die theoretische Möglichkeit, bei entsprechender Auswahl der Laserparameter entweder selektiv die Matrix oder auch nur dünne Oberflächenschichten, wie z. B. Trennmittelrückstände, zu entfernen. Der zweite Grund, der diese Laserquelle attraktiv für einen Einsatz zur Oberflächenbearbeitung erscheinen lässt, besteht darin, dass vergleichsweise große Pulsenergien in der Größenordnung um 5 J erzielt werden können. Dies bietet die Möglichkeit, über entsprechende Optiken einen vergleichsweise großen Laserspot mit einer Fläche in der Größenordnung von einem bis zwei cm² einzustellen – bei typischen Festkörperlaserquellen liegt die Spotfläche etwa eine Größenordnung darunter. Somit besteht die Möglichkeit, auch größere Flächen in vertretbaren Prozesszeiten zu bearbeiten. Angestrebt werden im Projekt für die Oberflächenvorbehandlung Flächenraten von mehr als 2 m²/h.

Die im Projekt geplanten Versuche gliedern sich in die beiden Hauptbereiche Klebvorbehandlung und Erzeugen von Schäftungsgeometrien. Dieser Artikel beschreibt die bisherigen Arbeiten zur Klebvorbehandlung. Für beide Bereiche ist es zunächst wichtig, Informationen zum Abtragverhalten des Matrixharzes und der Kohlenstofffasern zu sammeln, um auf dieser Grundlage die Abtragsmechanismen zu verstehen und geeignete Laserparameter auswählen zu können. Dazu wurden im ersten Schritt Reinharzproben aus einem typischen EP-Matrixharz bearbeitet und anhand verschiedener Messmethoden die Abträge bestimmt. Im nächsten Schritt erfolgten Bearbeitungsversuche an typischen CFK-Materialien aus der Automobil- und Luftfahrtindustrie sowie erste Klebversuche. Im weiteren Projektverlauf sollen bearbeitete und nicht bearbeitete Proben mittels Röntgenspektroskopie auf Trennmittelrückstände untersucht werden. Des Weiteren soll versucht werden, anhand dieser Untersuchungen auf mögliche Faserschädigungen zurückzuschließen.

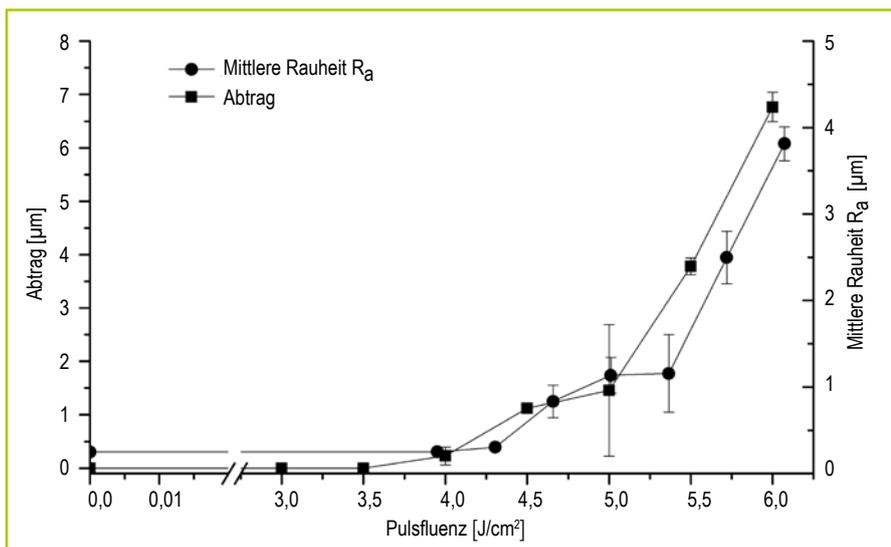


Bild 2: An Matrixproben ermittelter Abtrag in Abhängigkeit von der Pulsfluenz

Auszug erster Ergebnisse

Bild 2 zeigt den mittels Tastschnittmessung an Matrixproben ermittelten Zusammenhang zwischen mittlerem Abtrag und Bearbeitungsfluenz. Die Abtragsmessung zeigt den zu erwartenden Anstieg der Abtragstiefe mit steigender Bearbeitungsfluenz. Deutlich wird auch, dass bei Fluenzen von 4 J/cm² noch ein geringer, bei 3,5 J/cm² kein Abtrag mehr messbar ist. Die Abtragschwelle für das Matrixmaterial liegt bei Bearbeitung mit einem einzelnen Puls also zwischen 3,5 und 4,0 J/cm². Bei Bearbeitung mit mehreren bzw. überlappenden Pulsen, verschiebt sich diese Schwelle durch die Akkumulation von Wärme zu geringeren Fluenzen. Dazu werden im Projekt für verschiedene Bearbeitungsstrategien, wie die Bearbeitung mit hohem Überlapp bei niedrigeren oder die Wahl eines möglichst geringen Pulsüberlapps bei hohen Einzelpulsfluenzen, weitere Abtragsmessungen erfolgen.

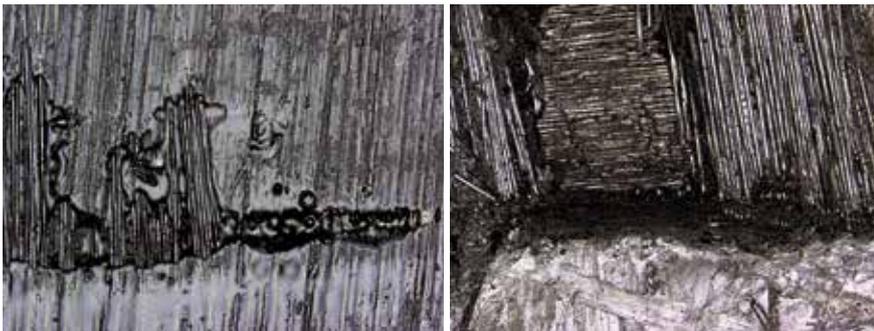
Bei der Oberflächenbearbeitung wurden zwei grundlegende Ziele verfolgt, die dazu verwendeten Bearbeitungsparameter sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Ziel der Bearbeitung mit 2,2 J/cm² ist es, einen möglichst geringen Abtrag zu erzielen. Die Bearbeitung mit 4 J/cm² hat zum Ziel, die Fasern und auch die Bereiche zwischen den einzelnen Faserrovings vollständig freizulegen. Daher wurde bei dem Parameter mit einer Fluenz von 4 J/cm² die Bearbeitung wiederholt, um sämtliche Matrixrückstände zu entfernen.

Mittels Laser-Scanning-Mikroskop angefertigte Aufnahmen von mit den genannten Parametern bearbeiteten automobiltypischen CFK (Multiaxialgelege mit Epoxidharzmatrix, im RTM Verfahren hergestellt) sind in Bild 3 dargestellt. Im unteren Bildbereich ist jeweils der unbearbeitete, im oberen der laserbearbeitete Bereich dargestellt.

Die Oberflächenbilder zeigen, dass in beiden Fällen das Bearbeitungsziel erreicht wurde. Auf der mit dem schwachen Parameter bearbeiteten Oberfläche wurde eine

Tabelle 1: Übersicht Bearbeitungsparameter

Pulsfluenz	Anzahl Pulse / Fläche	Anzahl Überfahrten	Akkumulierte Energie
2,2 J/cm ²	4	1	8,8 J/cm ²
4 J/cm ²	6	7	168 J/cm ²

Bild 3: Oberfläche nach der Laserbearbeitung - links: 2,2 J/cm², rechts: 4 J/cm²

geringe Menge Matrixharz abgetragen und nur wenige Fasern der obersten Faserlage freigelegt. Die mit dem intensiven Parameter bearbeiteten Proben zeigen vollständig freigelegte Fasern auch in den Zwischenräumen der einzelnen Faserbündel. Es sind nur einzelne geschädigte Fasern an der Oberfläche sichtbar. Dies legt den Rückschluss nahe, dass es durch die verwendeten Pulsfluenzen nicht zu einer Faserschädigung kommt und somit ein selektiver Matrixabtrag ermöglicht wird. Darauf deutet auch die Entfernung der Matrix in den Zwischenräumen zwischen den einzelnen Rovings hin.

Die Ergebnisse erster Klebversuche auf den mit den oben beschriebenen Parametern bearbeiteten Prüfkörpern sind vergleichend mit Referenzwerten geschliffener Proben in Bild 4 als Balkendiagramm zusammengefasst. Beide ausgewählten Laserparameter erreichen die Festigkeiten der geschliffenen Referenzproben, welche vollständig kohäsiv im Klebstoff versagen. Bei den Proben, bei denen ein hoher Grad an Fasern freigelegt wurde, sind in den Bruchbildern teilweise aus der Oberfläche gerissene Faserbündel festzustellen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass diese Fasern nicht mehr eingebettet sind und aufgrund

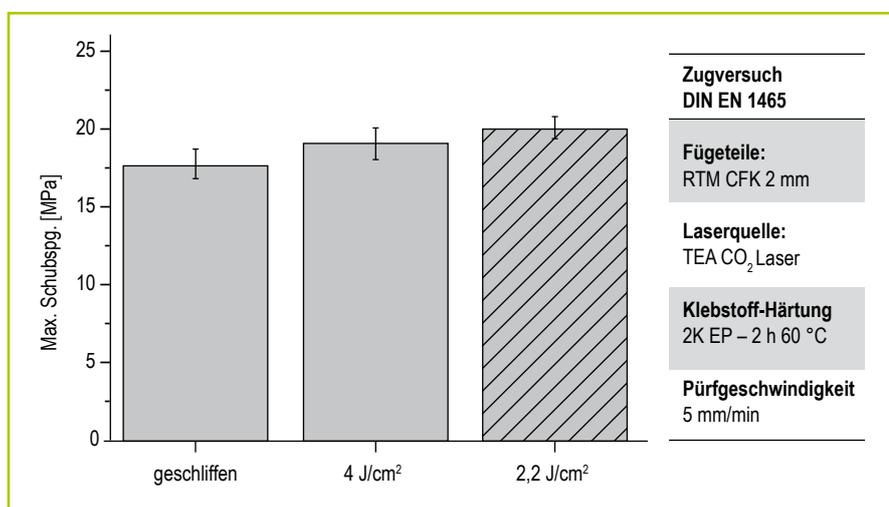


Bild 4: Ergebnisse der Zugscherprüfungen

der auftretenden Biegemomente aus dem Verbund gelöst werden können. Die mit geringer Intensität bearbeiteten Proben zeigen im Wesentlichen kohäsives Versagen mit geringen Anteilen, in denen nicht mehr vollständig anhaftende Matrix durch den Klebstoff von der Oberfläche getrennt wurde.

Zusammenfassung und Ausblick

Aufgrund der Wellenlänge und der hohen erzielbaren Pulsenergie bieten sich TEA CO₂ Laserquellen als geeignetes Werkzeug zur Klebvorbehandlung und zum Schäften von Faserverbundwerkstoffen an. Die bisher im Projekt geleisteten und hier dargestellten Arbeiten fokussieren auf die Klebvorbehandlung. Es wurden grundlegende Untersuchungen zur Bestimmung des Abtrags mit dem Ziel der Identifikation geeigneter Bearbeitungsparameter durchgeführt, bearbeitete Oberflächen betrachtet und anhand erster Klebversuche nachgewiesen, dass die Verbindungsfestigkeiten geschliffener Referenzproben erreicht werden können. Im weiteren Verlauf des Projektes wird zum einen eine Anpassung der Parameter zur Klebvorbehandlung erfolgen, so dass vollständig kohäsives Versagen im Klebstoff erreicht werden kann, und zum anderen die Erzeugung von Schäftungsgeometrien betrachtet werden. Weiterhin sind Versuche auf luftfahrtstypischen Materialien sowie analytische Untersuchungen der Oberflächen geplant.

Danksagung und Förderhinweis

Die Autoren danken dem Projektpartner SLCR Lasertechnik GmbH für die gute Zusammenarbeit. Das Projekt KF2012214CK2 wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Autoren:

Dipl.-Ing. Stefan Kreling
Dr. rer. nat. Fabian Fischer
Ansprechpartner:

s.kreling@tu-braunschweig.de

Schweißtechnische Fertigung der *Breeder Unit* (BU) im Rahmen des ITER-Projektes

Der Weltenergiebedarf steigt seit Jahrzehnten kontinuierlich an und wird überwiegend mit fossilen Energieträgern gedeckt. Laut aktuellen Angaben der Internationalen Energie-Agentur (IEA) wurden im Jahr 2011 81,6 % des Weltenergiebedarfs durch die Verbrennung von Öl, Erdgas und Kohle erzeugt. Der resultierende Ausstoß von Luftschadstoffen sowie die Emission von Treibhausgasen und die damit einhergehende globale Erwärmung resultieren in einer hohen Umweltbelastung. Der Wechsel zu umweltfreundlicheren Energiequellen ist derzeit somit eine wesentliche Aufgabe der industrialisierten Gesellschaften. Eine mögliche alternative Energiequelle stellt hier die Kernfusion dar.

Im Rahmen des ITER-Projektes (*International Thermonuclear Experimental Reactor*), welches bereits im Jahr 1985 initiiert wurde, soll die Möglichkeit der Energieerzeugung aus kontrollierter Kernfusionsreaktion untersucht werden. Ziel des Projektes ist dabei nicht der Bau eines funktionsfähigen Kraftwerkes. Vielmehr soll die Konzipierung, Herstellung und Untersuchung verschiedener Systeme eines zukünftigen Reaktors unter funktionsnahen Bedingungen untersucht werden. Somit handelt es sich bei diesem Projekt um eine Machbarkeitsforschung der Kernfusion als kommerzielle Energiequelle. Im Fall eines erfolgreichen Projektverlaufes soll im Rahmen des Nachfolgeprojektes (DEMO) ein funktionsfähiger Fusionsreaktor unter Berücksichtigung der beim ITER-Projekt gewonnenen Ergebnisse gebaut und an das Stromnetz angeschlossen werden.

Zurzeit befindet sich das ITER-Projekt in einer Phase der intensiven Ingenieurarbeiten. Das ifs beschäftigt sich in dieser Phase in Zusammenarbeit mit der Firma pro-beam im Auftrag vom Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) mit der schweißtechnischen Fertigung der *Helium Cooled Pebble Bed* (HCPB) *Breeder Unit* (BU). Die *Breeder Unit* ist die Schlüsselkomponente eines von zwei parallel untersuchten europäischen Konzepten für ein *Test Blanket Modul* (TBM), das im zukünftigen Reaktor die Wärmeabfuhr und die Erzeugung vom Tritium (Wasserstoffisotop) zur Durch-

führung kontrollierter Kernfusionsreaktion gewährleisten soll. Außerhalb Europas werden durch die an dem Forschungsprojekt beteiligten Länder auch eigene Konzepte des TBM untersucht.

Das ifs entwickelt innerhalb des ITER-Projektes ein Verfahren zum Elektronenstrahlschweißen eines Mutterexemplars der *Breeder Unit* im Labormaßstab unter besonderer Berücksichtigung der geforderten Schweißfolge der zahlreichen Einzelteile. Daran anschließend werden der entwickelte Schweißfolgeplan sowie die ermittelten Schweißparameter auf eine industrielle Elektronenstrahlschweißanlage bei der Firma pro-beam zur Fertigung der real skalierten *Breeder Unit* übertragen.

Nachdem die real skalierte *Breeder Unit* in der geforderten Qualität bei pro-beam gefertigt wurde, wird das beim KIT entwickelte Konzept des *Test Blanket Moduls* mit dem beim CEA Saclay (Frankreich) entwickelten Konzept (*Helium Cooled Lithium Lead* (HCLL) *Breeder Unit*) anhand einer Reihe von Tests im ITER verglichen. Das geeignetere Konzept soll anschließend für das zukünftige DEMO-Projekt ausgewählt werden.

Die *Breeder Unit* besteht aus 48 Einzelteilen (14 verschiedene Bauteilformen), die mit einer Vielzahl von Parametern sowie in einer bestimmten Schweißfolge zu einem Bauteil gefügt werden müssen (Bild 1).

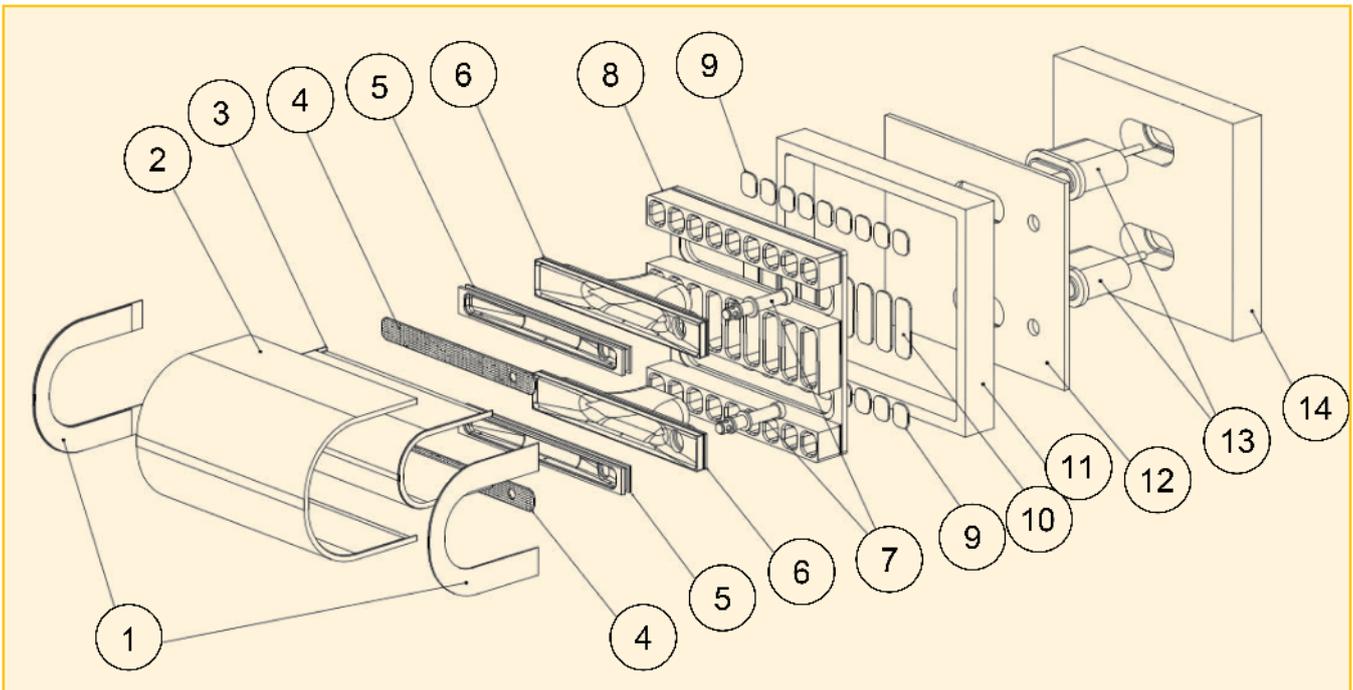


Bild 1: Explosionsdarstellung der Breeder Unit

Der Grundwerkstoff ist ein reduziert-aktivierender ferritisch-martensitischer (RAFM) Stahl, der speziell für das ITER-Projekt entwickelt und hergestellt wurde (EUROFER-97). Das Gefüge dieses Werkstoffs wird durch eine zweistufige Wärmebehandlung eingestellt und besteht aus angelassenem Martensit mit Karbonitriden. Die zu schweißenden Blechstärken betragen 2 mm, 4 mm und 5 mm.

Es existieren zwei Qualitätsanforderungen an die Schweißverbindungen dieser speziellen Werkstoffe:

- Das Schweißgutgefüge muss einen möglichst niedrigen Deltaferrit-Gehalt aufweisen.
- Die Abmessungen der inneren und äußeren Nahtunregelmäßigkeiten müssen der höchsten Bewertungsgruppe „B“ nach DIN EN ISO 13919-1 entsprechen.

Die geometrische Zugänglichkeit einiger Schweißverbindungen schließt die Verwendung eines Zusatzwerkstoffes zur Beeinflussung des Schweißgutgefüges aus. Daher muss das geforderte Gefüge über die Einstellung einer günstigen Temperaturführung durch passende Schweißparameter gewährleistet werden.

Zur Ermittlung der Schweißparameter wurde eine umfangreiche Parameterstudie durchgeführt. Im ersten Teil dieser Studie wurden reguläre I-Stoß-Proben in den genannten Blechstärken geschweißt und der Deltaferrit-Gehalt metallographisch sowie eventuelle Nahtunregelmäßigkeiten bildanalytisch untersucht. Anschließend wurden für jede zu schweißende Blechstärke Korrelationen zwischen den wichtigsten Prozessparametern, resultierenden Deltaferrit-

Gehalten und den Abmessungen der Nahtunregelmäßigkeiten erstellt und passende Schweißparameter ermittelt.

Mehrere Schweißgruppen der *Breeder Unit* sind jedoch durch abweichende I-Stöße gekennzeichnet, auf welche die ermittelten Schweißparameter nicht direkt übertragen werden können. Um eine gute Nahtqualität im Wurzelbereich dieser abweichenden I-Stöße zu erreichen, muss der Strahlstrom um einen bestimmten Wert, der durch zusätzliche Versuche zu ermitteln ist, reduziert werden. Darüber hinaus sind einige Schweißverbindungen sehr nah am Bauteilrand positioniert (Bild 2).

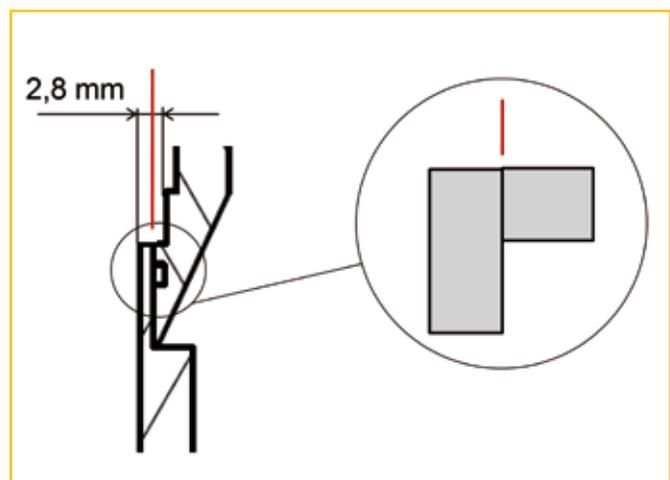


Bild 2: Abweichender I-Stoß nah zum Bauteilrand

Aufgrund der verhinderten Wärmeableitung kann in diesem randnahen Bereich ein Wärmestau entstehen, der seinerseits zu einer Abschmelzung der Kante führen kann.

Zur Anpassung des Strahlstromes sowie zur Untersuchung der Problematik des Wärmestaus wurden Schweißproben hergestellt, die der Form und den Abmessungen der o. g. abweichenden I-Stoß-Schweißverbindungen entsprechen. In Bild 3 sind Querschliffe der mit optimierten Parametern geschweißten Nähte aus diesen Proben dargestellt.

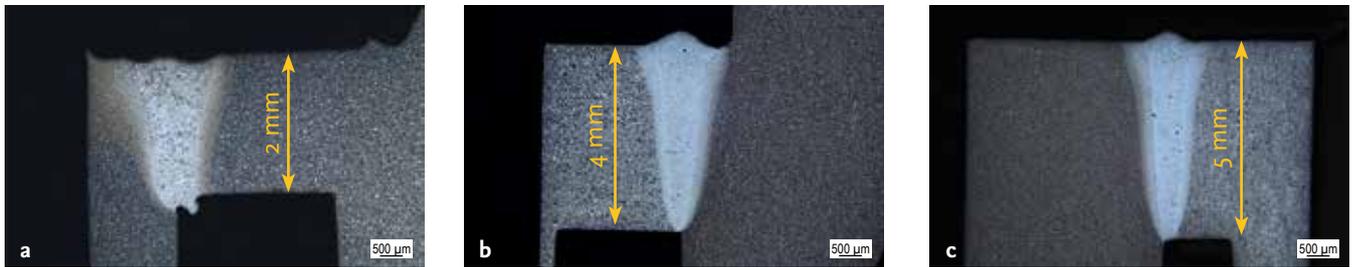


Bild 3: Querschliffe aus den Schweißproben

Die in Bild 3a dargestellte Schweißverbindung ist sehr nah am Bauteilrand positioniert. Durch eine konzentrierte und insgesamt niedrige Energieeinbringung, die für das Elektronenstrahlschweißen typisch ist, wurde ein kritischer Wärmestau im randnahen Bereich mit resultierender Abschmelzung der Kante vermieden. Die Schweißverbindung weist eine Nahtunterwölbung und Wurzelüberhöhung auf. Die Abmessungen dieser Nahtunregelmäßigkeiten sind aber klein und entsprechen den Anforderungen der höchsten Bewertungsgruppe „B“ nach DIN EN ISO 13919-1. Die Schweißverbindungen an abweichenden I-Stößen höherer Blechstärken von 4 mm und 5 mm (Bild 3b und 3c) sind nicht durch Nahtunregelmäßigkeiten im Wurzelbereich gekennzeichnet. Die Nahtüberhöhung und vereinzelte Poren haben sehr kleine Abmessungen, sodass beide Schweißverbindungen auch in Bewertungsgruppe „B“ eingestuft werden können. Der Deltaferritgehalt beträgt bei allen drei Proben weniger als 1 % und weist eine homogene Verteilung über die Schweißzone auf. Mit den ermittelten Schweißparametern können also qualitativ hochwertige Schweißungen im I-Stoß mit dem gegebenen Werkstoff hergestellt werden.

Nach der Ermittlung aller Schweißparameter und Programmierung der zu schweißenden Konturen konnten so die sechs von elf Baugruppen der Muster-Breeder Unit erfolgreich geschweißt werden (siehe Bild 4).

Alle geschweißten Nähte sind durch eine regelmäßige Oberfläche gekennzeichnet und weisen keine äußeren Unregelmäßigkeiten auf. Diese guten Ergebnisse sind nicht nur auf umfangreiche Voruntersuchungen an bauteilnahen Schweißproben zurückzuführen,

sondern auch auf die hohe Präzision der einzelnen Bauteile, die beim KIT gefertigt wurden. Somit konnte die Baugruppe durchgehend mit technischem Nullspalt geschweißt werden, was für die Qualität der Schweißnähte bei den geforderten Einschweißstiefen von größter Bedeutung ist.

Derzeit werden die weiteren für die Fertigstellung der Breeder Unit notwendigen Bauteile hergestellt. Im Anschluss daran wird die Muster-Breeder Unit gemäß bereits entwickeltem Schweißfolgeplan fertig geschweißt.

Abschließend kann festgestellt werden, dass das Elektronenstrahlschweißen aufgrund der für eine Verzugsminimierung erforderlichen sehr konzentrierten Energieeinbringung als prädestiniertes Schweißverfahren für die Breeder Unit betrachtet werden kann.



Bild 4: Breeder Unit - Einzelteile 1 bis 7 gemäß Bild 1

Autoren:
Sergii Krasnorutskyi, M.Sc. | Kai Noack
Dr. rer. nat. Fabian Fischer
Ansprechpartner:
s.krasnorutskyi@tu-braunschweig.de

Forschung und Lehre zur Lithium-Ionen- Batterieproduktion am ifs

Die Themen erneuerbare Energien und Elektromobilität beschäftigen derzeit viele Menschen in Deutschland und auf der ganzen Welt. Neben der Energieerzeugung tragen nachhaltige Lösungen zur Energiespeicherung maßgeblich zum ökologischen Erfolg der erneuerbaren Energien bei. Besonders in der Elektromobilität und in intelligenten Stromnetzen (Smart Grid) sind leistungsfähige, kostengünstige, sichere und zuverlässige Speichertechniken erforderlich.

Gegenwärtig werden hier Lithium-Ionen Batterien favorisiert. Obwohl diese Technologie weit verbreitet ist, sind viele Grundlagen, insbesondere zum Einfluss der Prozesstechnik, unzureichend erforscht, da das gegenwärtige Wissen auf Grund der komplexen Zusammenhänge von Chemie und Verfahrenstechnik der Batterie-zellherstellung meist empirisch erlangt wurde.

Vor diesem Hintergrund hat sich ein Konsortium der TU Braunschweig und der Physikalisch Technischen Bundesanstalt (PTB), dem auch das Institut für Füge- und Schweißtechnik angehört, zusammengeschlossen, um den kompletten Produktlebenszyklus von Batterien wissenschaftlich zu untersuchen (Bild 1).

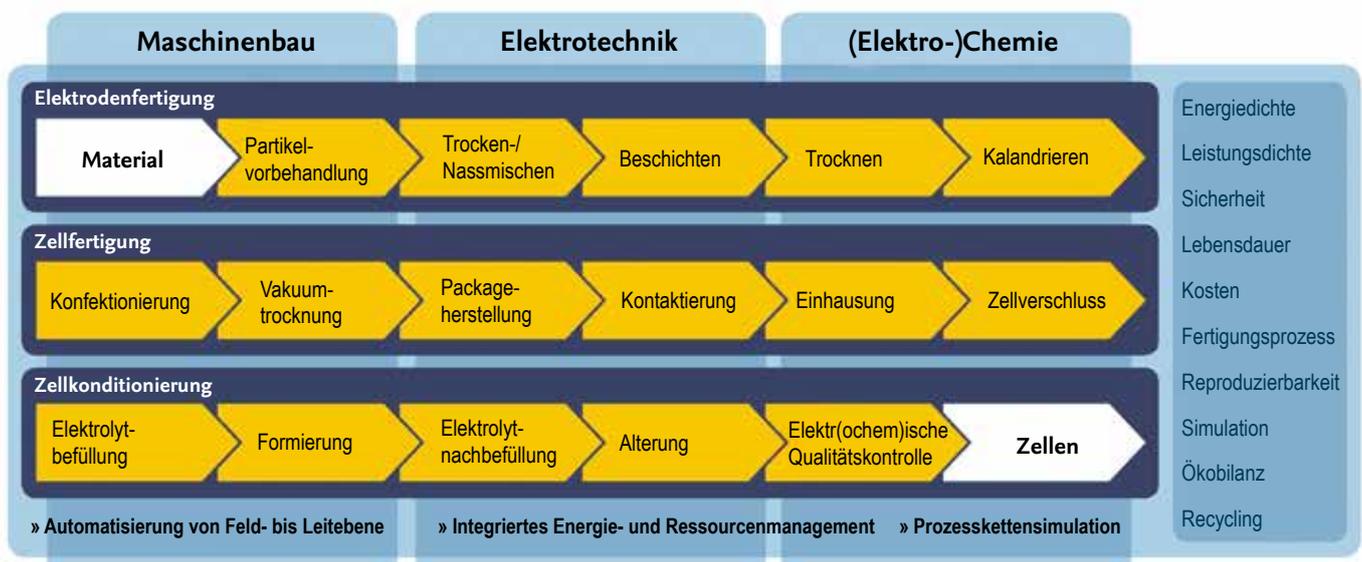


Bild 1: Die Prozesskette zur Herstellung von Batteriezellen verknüpft interdisziplinär und fakultätsübergreifend alle Aspekte der Batteriezellproduktion

Die Battery LabFactory Braunschweig



Um diesem Anspruch gerecht werden zu können, wird in Braunschweig im Sommer 2014 die Battery LabFactory Braunschweig (BLB) den Betrieb aufnehmen. Die BLB ist eine Einrichtung des Niedersächsischen Forschungszentrums Fahrzeugtechnik (NFF) der TU Braunschweig, in der die auf dem Gebiet der Batterieentwicklung tätigen Institute der TU gemeinsame Forschungsprojekte auch unter Beteiligung der Industrie umsetzen. Die BLB stellt somit eine offene Forschungsinfrastruktur für die wissenschaftliche Untersuchung von elektrochemischen Speichern dar.

Ziel ist es, die an den einzelnen Instituten bereits seit Jahren vorhandene Kompetenz und Technik in einem gemeinsamen Technikum zu bündeln und dabei die gesamte Prozesskette in einem Raumkonzept abzubilden. Mit einem Investitionsvolumen von über vier Millionen Euro, von dem knapp die Hälfte der Europäische Fond für Regionale Entwicklung (EFRE) fördert, wird ein sogenannter Trockenraum gebaut und mit den erforderlichen Anlagen für eine durchgängige Produktion klein- und mittelformatiger Batteriezellen ausgestattet (Bild 2). Der Technikumsmaßstab gewährleistet den Forschergruppen – aber auch interessierten Unternehmen – Parameterstudien, Prozessoptimierungen und Grundlagenforschung produktionsnah, d. h. über den Labormaßstab hinaus, zu betreiben.



Bild 2: Gestapelte Elektrodenfolien in einem Magazin



Bild 3: Der Trockenraum für den Zuschnitt und die Kontaktierung der Elektrodenfolien mit 62 m² Fläche ist kurz vor der Fertigstellung

Auf einer Fläche von rund 1 000 Quadratmetern werden entsprechende Laborräume eingerichtet. Herzstück der BLB sind zwei über eine Schleuse zugängliche Räume mit einer Gesamtfläche von 220 Quadratmetern, in denen eine quasi wasserfreie Atmosphäre herrscht (Bild 3). Bei einer Raumtemperatur von 21 °C liegt der Taupunkt in diesen Räumen bei höchstens –60 °C bis –45 °C. Diese extreme Wasserfreiheit (Anteil H₂O < 20 ppm) ist erforderlich, da Wasser in den Lithium-Ionen-Batteriezellen zu unerwünschten chemischen Reaktionen führen würde, beispielsweise zur Bildung von Wasserstoff bzw. Fluorwasserstoff. Diese Reaktionen vermindern die Leistung der Zellen, verkürzen deren Lebensdauer und sind darüber hinaus sicherheitstechnisch nicht unkritisch. Die BLB ist deshalb mit einer entsprechend leistungsfähigen Klimatisierungstechnik ausgestattet. Diese ist in der Lage, die durch die Forscher abgegebene Feuchtigkeit so zu kompensieren, dass die Trockenraumbedingungen jederzeit aufrechterhalten werden. Die durch die Battery LabFactory Braunschweig gebotenen Möglichkeiten werden vom Institut vielfältig genutzt. So können hier beispielsweise komplexe Untersuchungen zu Bindern für die Beschichtung von Elektrodenfolien durchgeführt werden, worauf im folgenden Abschnitt ausführlicher eingegangen wird.

Entwicklung neuer Binder für die Stromsammlerbeschichtung im Graduiertenkolleg GEENI

Ein galvanisches Element benötigt für seine Funktion Elektroden und einen Elektrolyten. Auch in modernen Batteriespeichern, wie sie für die Elektromobilität Verwendung finden, wird dieses Prinzip angewendet. Jedoch ist der Aufbau von Lithium-Ionen-Sekundärzellen wesentlich anspruchsvoller als zu Zeiten Galvanis. Die metallischen Stromsammler werden mit verschiedenen Beschichtungen versehen, die wesentlich für eine maximale Energiedichte, Zyklisierbarkeit, Lebensdauer und Zuverlässigkeit sind (Bild 4). Dabei kommt der Zusammensetzung und der prozesstechnischen Verarbeitung dieser Beschichtungen eine besondere Bedeutung zu.

Lithium-Manganoxid, für den Elektrolyten zugänglich eingebettet werden. Seine weitere Aufgabe ist die mechanische und elektrisch leitende Verbindung der Aktivmaterialien mit den als Stromsammler verwendeten Metallfolien (Bild 5).

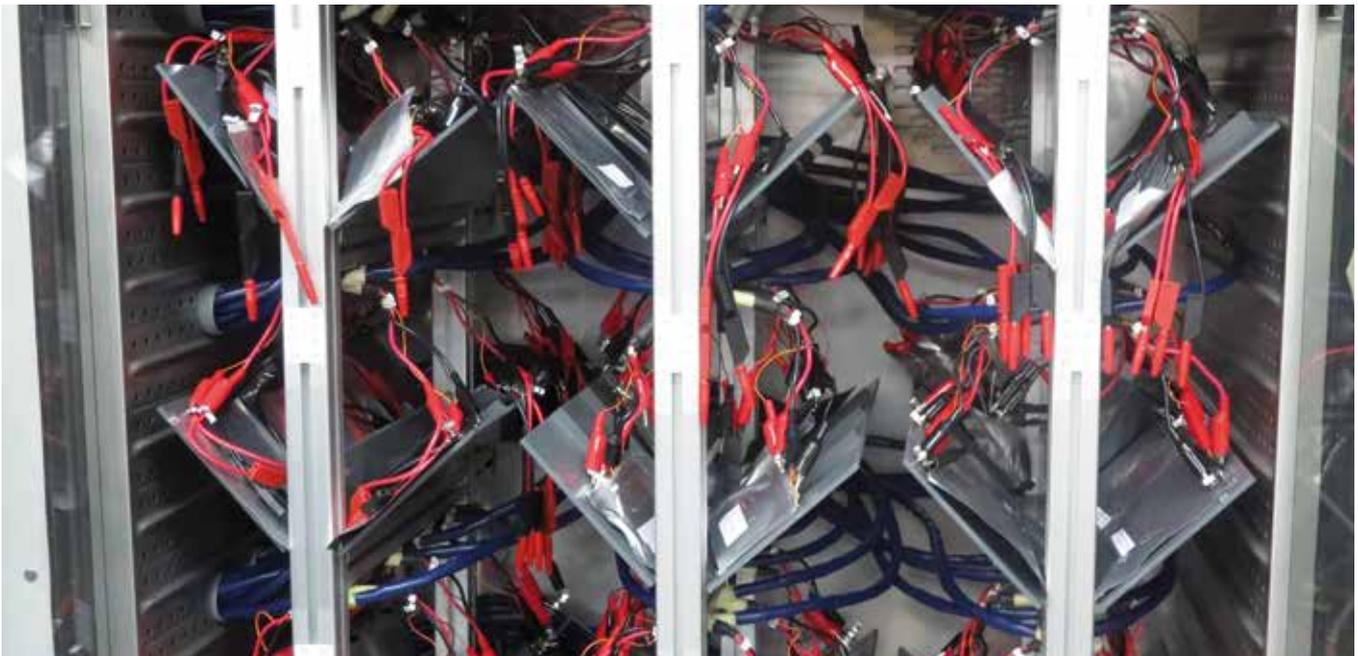


Bild 4: Station zum Laden und Entladen der Batteriezellen (Zyklisierung) zur Untersuchung des Leistungsvermögens und Alterungsverhaltens

Gerade für die Untersuchung dieser Themen wurde vom Land Niedersachsen das Graduiertenkolleg Energiespeicher und Elektromobilität Niedersachsen (GEENI) eingerichtet und finanziert. Dem akademischen Nachwuchs bietet sich hier die Möglichkeit, bei guter fachlicher und organisatorischer Betreuung in hochschulübergreifenden, interdisziplinären Teams Grundlagenforschung mit dem Ziel der Promotion zu betreiben. Das *ifs* verfolgt im Rahmen von GEENI das Forschungsziel, alternative Bindersysteme für die Beschichtung von Elektrodenfolien zu entwickeln und zu untersuchen.

Die gegenwärtig verwendeten Materialien zur Beschichtung, wie Polyvinylidenfluorid (PVdF), beinhalten oft stark gesundheitsschädliche oder umweltgefährdende Stoffe. Ein Beispiel ist das Lösungsmittel N-Methyl-2-pyrrolidon (NMP), welches die Viskosität des Binders und somit die Verarbeitungsmöglichkeiten beim Schichtauftrag beeinflusst. Der Binder ist praktisch ein Klebstoff, mit dem die Aktivmaterialien, wie Graphit und



Bild 5: Beschichtete Elektrodenfolie

Die vom ifs zu entwickelnde alternative Beschichtungstechnologie soll frei von Lösemittelemissionen sein und bei verbesserter Leitfähigkeit eine größere Beanspruchbarkeit des Verbundes sicherstellen. Dazu sollen insbesondere reaktive Binder zum Einsatz kommen. Im Rahmen von GEENI werden unterschiedliche Epoxidharz-, Acrylat-, Polyurethan- und Kautschuksysteme untersucht, zu denen am Institut für Füge- und Schweißtechnik bezüglich Formulierung, Eigenschaften und Verarbeitung vielfältige Erfahrungen vorliegen. Die Herausforderung für den Einsatz der alternativen Klebstoffe als Binder besteht darin, eine ausreichende Haftung des Schichtverbundes auf dem Elektrodensubstrat (z. B. Aluminium) ebenso sicherzustellen wie die Integrität der Schicht selbst. Im Projekt wird ein größerer Spielraum bezüglich der verfahrenstechnischen Grenzen, wie Schichtdicken oder Prozesszeiten, angestrebt.

Die zu untersuchenden Fragestellungen umfassen neben der Charakterisierung und Auswahl geeigneter Bindermaterialien auch die Prozessierbarkeit in industriellen Fertigungsabläufen, wie Mischbarkeit mit dem Elektrodenmaterial, Haftung auf dem Elektrodensubstrat, Chemikalienbeständigkeit und elektrische bzw. ionische Leitfähigkeit. Je nach ausgewähltem Bindersystem müssen geeignete Härtingsverfahren und zur Gewährleistung einer guten Haftung Fragen der Oberflächenbehandlung sowohl des Elektrodensubstrates als auch der Partikel betrachtet werden. Hier ist das Ziel, ein vorzeitiges Altern der Zelle durch Delamination zu unterbinden, indem eine geeignete Oberflächenvorbehandlung, beispielsweise durch Plasma, Primer oder Laser, erfolgt. Durch die Substitution der giftigen Chemikalien und eine weniger aufwändige Verfahrenstechnik werden Kosteneinsparungen und eine deutliche Verringerung der Gesundheits- und Umweltrisiken erwartet.

Fügetechnik und Kontaktierungstechnologien für die Batterieproduktion

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt des ifs ist die Gestaltung, Auslegung und Qualifizierung von Fügeverbindungen für die elektrische Kontaktierung innerhalb und außerhalb von Batteriezellen. Innerhalb einer Zelle müssen die Stromsammelrfolien mit den Ableitern verbunden werden, welche aus der Zelle hinausführen. Gängige Technik ist hierfür das Ultraschallschweißen (Bild 6). Für die elektrische und mechanische Verbindung der Pole der Batteriezellen miteinander werden häufig metallische Polverbinder eingesetzt, die gut unter Anwendung des Laserstrahlschweißens montiert werden können. Hierzu wurden am ifs, gemeinsam mit Industriepartnern, verschiedene Untersuchungen und Prozessoptimierungen durchgeführt.

In weiteren erfolgreichen Projekten wurden grundsätzliche Einsatzmöglichkeiten der verschiedenen Fügeverfahren für die Batterieproduktion und Fahrzeugintegration untersucht, um

in zukunftsorientierten Designkonzepten beispielsweise Gewichtsersparungen oder eine Verbesserung der Prozesskontrolle und Qualitätssicherung zu erreichen.

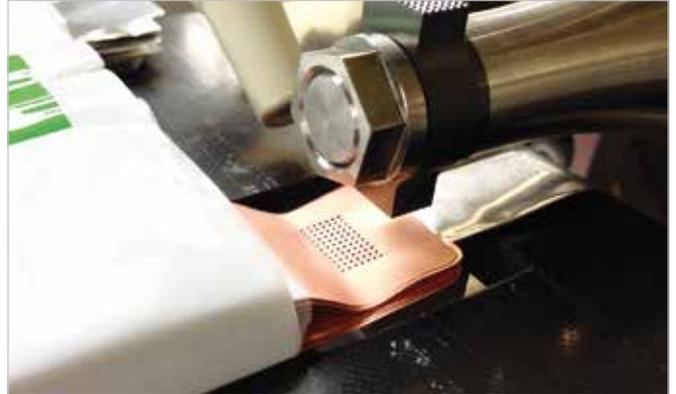


Bild 6: Ultraschallschweißung der Stromsammelrfolien mit dem Ableiter

Weiterbildungsangebote für die Industrie

Als Universitätsinstitut ist dem ifs die Aus-, Fort- und Weiterbildung ein besonderes Anliegen. Neben Lehangeboten für Studierende und der Durchführung von studentischen Arbeiten ist die Vermittlung von Wissen zur Batterieproduktion für Akademiker und Techniker aus der Industrie ein wesentlicher Beitrag zur Stärkung des Standorts Deutschland, um eine Schlüsselposition im Bereich der Elektromobilität zu erreichen.

Zur Erreichung dieses anspruchsvollen Ziels wurde das Schaufensterprojekt „Hochschuloffensive eMobilität für die Fort- und Weiterbildung – Mobilität elektrisch erleben, erfahren, erlernen!“, kurz Mobil4e ins Leben gerufen. An sechs Hochschulen in Niedersachsen erarbeiten über 20 Institute gemeinsam die Lehrinhalte, entwerfen anschauliche Demonstrations- und Experimentierumgebungen und stellen didaktisch aufbereitete Lehrmodule zusammen. Interessierte Unternehmen können sich dann individuell auf ihre Bedürfnisse abgestimmte Weiterbildungsangebote zusammenstellen und so ihre Mitarbeiter fit für die Herausforderungen der Elektromobilität machen.

Das Institut für Füge- und Schweißtechnik konzentriert sich in diesem Projekt auf alle anfallenden Fügeaufgaben entlang des Antriebsstrangs, angefangen von elektrischer Kontaktierung innerhalb der Batteriezelle, über den Zellverschluss durch Heißsiegelverfahren bei Pouchzellen (Zellgehäuse aus Verbundfolien) oder Laserstrahlschweißungen für prismatische Hardcasezellen mit einem metallischen Gehäuse bis hin zur elektrischen und mechanischen Verbindung der Zellen zu einem Modul und einer kompletten Batterie. Weitere Themen sind Leichtbaulösungen und Schutzmaßnahmen für die Integration der Batterie in das Fahrzeug.

Autoren:

Dipl.-Ing. Mario Wagner | Dr. rer. nat. Frauke Cornelius

Ansprechpartner: mario.wagner@tu-braunschweig.de



Produktionstechnologie für Faserverbunde wird mit dem JEC Innovation Award ausgezeichnet

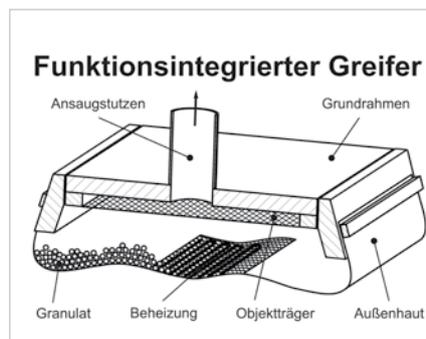
Der **JEC Innovation Award** wird jährlich auf den Fachmessen der JEC Composite Gruppe für herausragende Innovationen im Bereich der Verbundwerkstoffe vergeben. In der Kategorie „Automation“ wurden dieses Jahr Forschungsarbeiten der Technischen Universität Braunschweig prämiert. Bei einer Preisverleihung im Rahmen der Fachmesse JEC Americas (Atlanta) nahmen Christian Löchte vom Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF) und Holger Kunz vom Institut für Füge- und Schweißtechnik (ifs) den Preis entgegen.

Die beteiligten Wissenschaftler erhalten den Preis für die Entwicklung neuartiger formvariabler Handhabungs- und Fügwerkzeuge zur Verbesserung der automatisierten Herstellung textiler Preforms. Die Entwicklung ist Ergebnis einer engen Kooperation des IWF und ifs in der die Kompetenzen des IWF zur Prozessautomatisierung und Handhabungstechnik mit der Expertise des ifs zur Füge- und Schweißtechnik kombiniert werden.



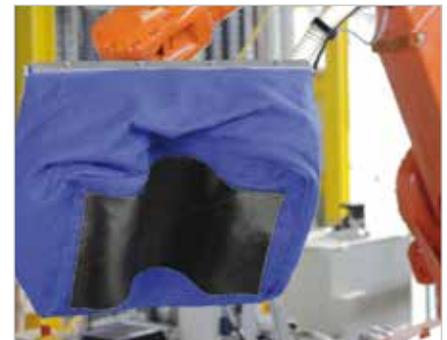
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Christian Löchte (IWF)
Dipl.-Ing. Holger Kunz (ifs)

Christian Löchte erforscht am IWF granulatbasierte formvariable Handhabungswerkzeuge. Holger Kunz beschäftigt sich am ifs mit dem Preformprozess, insbesondere dem klebtechnischen Fügen von Textilien. Die gemeinsame Zusammenarbeit im Bereich der Automatisierung dieses Prozessschrittes brachte die ausgezeichnete Innovation hervor.



Das FormHand-Konzept

Technische Beschreibung der Innovation:
Der Grundaufbau des Handhabungs- und Fügwerkzeugs besteht aus einem Grundrahmen, einem Kissen mit luftdurchlässigem Bezug und einer Granulatfüllung. Das Kissen bildet zusammen mit dem Grundrahmen ein Volumen aus, das über einen Ansaugstutzen und ein externes Gebläse mit einem Unterdruck beaufschlagt werden kann. Aus dem Grundaufbau des neuartigen Handhabungs- und Fügwerkzeugs resultieren folgende Vorteile:



Formvariables und flächiges Greifen mit der FormHand

- Das Prinzip des Flächensaugers erlaubt schonendes Greifen biegeschlaffer Halbzeuge (z. B. Textilien, Leder, Folien) ohne Materialschädigung
- Die hohe Flexibilität des Greiferkissens und Flächensaugers erlaubt eine hohe Geometrie- bzw. Zuschnittvariation der zu fügenden Halbzeuge
- Die Integration von Heiztechnik im Greifer erlaubt Aktivierung von Schmelzklebstoffen und Fixierung der Halbzeuge im drapierten Zustand
- Die hohe Formvariabilität des Greiferkissens erlaubt das Drapieren unterschiedlichster Geometrien.

Technology Entrepreneurship

Seit den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts vollzieht sich die Transformation der Industriegesellschaft in die Wissensgesellschaft. Der Begriff der „Wissensgesellschaft“ betont die Relevanz von Information und Wissen als wichtigen Produktionsfaktor. Nicht zuletzt durch die Revolution der Informations- und Kommunikationstechnik konnte das Wissen zum entscheidenden Bestimmungsfaktor des weltweiten Wettbewerbs avancieren.

Die Wettbewerbsfähigkeit moderner Volkswirtschaften hängt in zunehmendem Maße vom Interaktionserfolg des Hochschul- und Wirtschaftssystems ab. Je intensiver die Wissensproduktion in den Hochschulen der Entstehung neuer innovativer Güter und Dienstleistungen dient, umso größer sind die Wohlfahrtseffekte wissenschaftlicher Leistung.

Durch „schöpferische Zerstörung“ (Schumpeter) sorgen die Entrepreneure für die Entstehung neuer höherwertiger Produkte und Dienstleistungen, welche die alten Güter ersetzen („zerstören“) und eine dynamische Fortentwicklung der Ökonomie sicherstellen. Entrepreneurship gilt so als treibende Kraft der marktwirtschaftlichen Systeme.

Der Entrepreneur zeichnet sich durch die Durchsetzung von Innovationen anhand von neu gegründeten Unternehmen aus. Während der deutsche Begriff „Existenzgründung“ auf jegliche Form der Unternehmensgründung abzielt, impliziert Entrepreneurship die Entstehung, Entwicklung und Etablierung von ausschließlich innovativen Unternehmen.

Entrepreneurial University

Den Hochschulen kommt in der Wissensgesellschaft eine besondere Bedeutung zu. Während sie ihre Aufgabe in der Industriegesellschaft primär in der Wissensgenerierung definierten und sich teilweise hinter ihrem aristokratischen Ethos von der nicht-elitären „Anwendung“ abschotteten, beschäftigen sich die Universitäten nun mehr mit den Anwendungsoptionen ihrer eigenen Forschung. In der Wissensgesellschaft und der daraus resultierenden Wissensökonomie kommt es sehr darauf an, wie die Forschung und deren Anwendung miteinander gekoppelt sind. Die Wohlfahrtseffekte dieser Kopplung haben für Deutschland eine nationale Bedeutung. Ohne sie ist sein Prosperitätsniveau mittel- und langfristig nicht zu halten.

Spin-offs aus den Hochschulen schlagen eine Brücke zwischen der Wissensproduktion und Wissensverwertung und gelten als Bindeglied zwischen Wissenschaftssystem und Wirtschaftssystem. So entwickeln sich die Hochschulen von Lehr- und Forschungsbetrieben zu Inkubatoren hoch innovativer Startups. Das Beispiel Google demonstriert, wie wachstumsstarke Unternehmen in kurzer Zeit aus den Hochschulen hervorgehen können. Die OECD misst sogar den Erfolg der Forschungs- und Entwicklungsarbeit der Mitgliedsstaaten anhand der Zahl der Spin-offs aus den öffentlichen wissenschaftlichen Einrichtungen.¹⁾

Während Deutschland im Bereich der Wissensproduktion einen deutlichen Vorsprung den USA gegenüber aufzeigt, ist die Gründungsquote verhältnismäßig bescheiden. So wurden in Deutschland in dem Zeitraum 1999-2009 mehr als doppelt so viele Patente pro Million Einwohner angemeldet als in den USA (siehe Bild 1). Die Zahl der Unternehmensgründungen blieb jedoch erheblich hinter den USA. Nach dem Global Entrepreneurship Monitoring betrug im Zeitraum 2001-2010 der Gründungsindex in Deutschland 4,8 und 10,3 in den USA.²⁾ Damit waren die Gründungsaktivitäten in den USA mehr als zweimal so stark wie in Deutschland.

¹⁾ Braun-Thürmann, H./Knie, A./Simon, D. (2010) : Unternehmen Wissenschaft, S. 7, transcript Verlag

²⁾ www.internationalentrepreneurship.com/total-entrepreneurial-activity, 19.02.2013

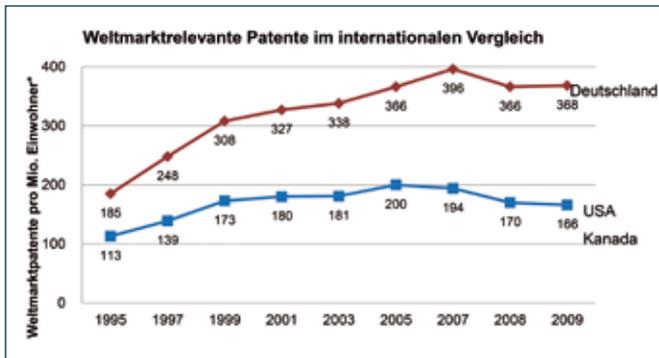


Bild 1: Erfindungen, die beim Europäischen Patentamt oder bei der WIPO angemeldet worden sind. Quelle: EPAPAT, WOPATENT, OECD und Berechnungen des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung. Daten-Portal des BMBF: www.datenportal.bmbf.de/portal/1.8.4

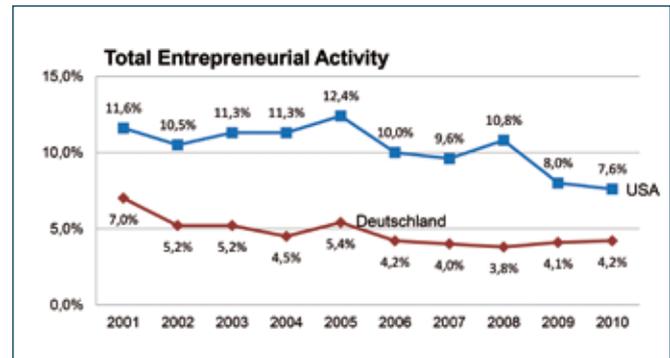


Bild 2: Anteil der in Startups Beschäftigten an der Gesamtzahl der Erwerbstätigen in einem Land. Quelle: <http://www.internationalentrepreneurship.com/tptal-entrepreneurial-activity> (Abruf 21.02.2013)

TU Braunschweig und Ostfalia Hochschule als Entrepreneurship-Exzellenzhochschulen

Vor diesem Hintergrund startete die Bundesregierung 2011 die Exzellenzinitiative „EXIT-IV Gründerhochschule“, um den Universitäten Anreize für die Unterstützung einer systematischen Wissensverwertung zu geben. Die Technische Universität Braunschweig und die Ostfalia Hochschule konnten unter der Federführung ihres gemeinsamen Lehrstuhls für Entrepreneurship erfolgreich am Wettbewerb teilnehmen. Im Februar 2014 fand die Zwischenevaluierung des Projektes durch das Bundeswirtschaftsministerium statt. Die Jury war von der geleisteten Arbeit sehr überzeugt und genehmigte deshalb die Finanzierung des Projektes für weitere zwei Jahre.



Technology Business Model Creation

Die Umwandlung von Forschungsergebnissen in innovative Produkte ist ein komplexer vielschichtiger Prozess, der beachtliche Ressourcen erfordert und die kreative Anwendung betriebswirtschaftlicher Kenntnisse voraussetzt. Der Lehrstuhl für Entrepreneurship beschäftigt sich in der Lehre und Forschung mit dem Transformationsprozess des Forschungsoutputs in innovative Spin-offs. Im Rahmen des Seminars „Technology Business Model Creation“ entwickeln Studierende des Studiengangs Wirtschaftsingenieurwesen geeignete Geschäftskonzepte für ausgereifte Forschungsprojekte. Durch Markt- und Kundenanalyse werden die Wirtschaftspotenziale der Forschungsprojekte aufgedeckt und die Chancen für unterschiedliche Industriesegmente dargestellt. Im Anschluss werden Geschäftsmodelle entwickelt, die den wirtschaftlichen Erfolg der Forschungsleistung sicherstellen.

Es werden insbesondere innovative Geschäftsmodelle aus den Bereichen wissensintensiver Unternehmensgründungen ausführlich analysiert. Anschließend entwickeln die Studierenden mit den erworbenen Kenntnissen für die ihnen vorgegebenen Forschungsprojekte geeignete Geschäftsmodelle.

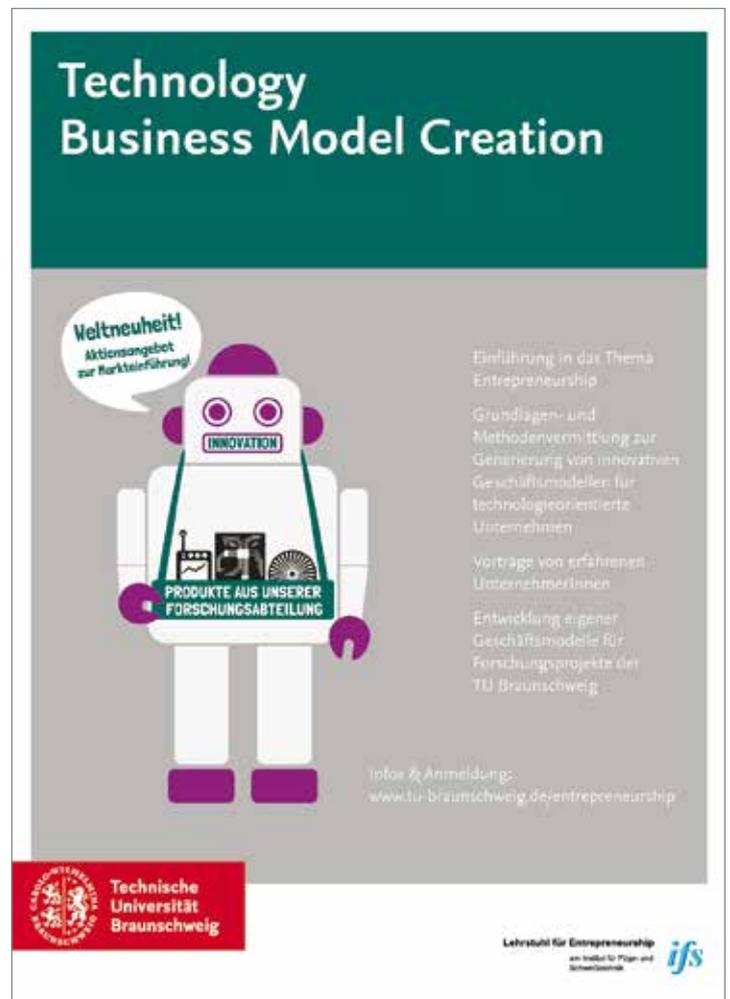
(von links): Vizepräsident der TU Braunschweig Prof. Dr. Ulrich Reimers, Inhaber des gemeinsamen Entrepreneurshiplehrstuhls Prof. Dr. Reza Asghari, Präsidentin der Ostfalia Hochschule Prof. Dr. Rosemarie Karger und Leiter der Technologietransferstelle der TU Braunschweig Dipl.-Ing. Jörg Saathoff

Geschäftskonzept für Preformgreifer aus dem *ifs*

Im Sommersemester 2014 bearbeiten die Studierenden unter anderem das innovative formvariable Handhabungs- und Füge-werkzeug FormHand, das derzeit gemeinsam am Institut für Füge- und Schweißtechnik und am Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik erforscht wird. Das Werkzeug ist in der Lage, luftdurchlässige und biegeschlaffe Halbzeuge, wie etwa Textilien, schonend zu greifen, in mehrfach gekrümmte Formen zu drapieren und mit Klebstoffen zu fügen.

Der innovative Aufbau des Werkzeugs erlaubt eine hohe Formvariabilität und Funktionsintegration und weist zahlreiche technische Vorteile gegenüber dem Stand der Technik auf. Als erste Anwendung für die formvariable Handhabungs- und Fügetechnik wurde die Herstellung dreidimensionaler textiler Halbzeuge (Preform) für die Fertigung von Faserverbundbauteilen untersucht. Aufgrund der aktuellen Leichtbaubestrebungen bei größeren Stückzahlen, z. B. im Automobilbau, besteht ein großes Interesse der Hersteller an neuen, automatisierten Fertigungsverfahren (s. auch Seite 25).

Nach der Markt-, Konkurrenz- und Kundenanalyse wird ein innovatives Geschäftsmodell entworfen, welches als Grundlage für die künftige Markteinführung der Forschungsergebnisse dienen soll. Die betriebswirtschaftliche Analyse soll die Marktfähigkeit des Produktes aufzeigen und ein geeignetes Marketing- und Vertriebskonzept für die Einführung des Produktes in den B2B-Markt erarbeiten.



Technology Business Model Creation

Einflussung in das Thema Entrepreneurship

Grundlagen- und Methodenvermittlung zur Generierung von innovativen Geschäftsmodellen für technologieorientierte Unternehmen

Vorträge von erfahrenen UnternehmerInnen

Entwicklung eigener Geschäftsmodelle für Forschungsprojekte der TU Braunschweig

Infos & Anmeldung:
www.tu-braunschweig.de/entrepreneurship

Technische Universität Braunschweig

Lehrstuhl für Entrepreneurship
an Institut für Füge- und Schweißtechnik *ifs*

Kontakt:
TU Braunschweig
Institut für Füge- und Schweißtechnik
Lehrstuhl für Entrepreneurship
Schleinitzstr. 20
38106 Braunschweig
Raum: 224
Tel. +49-531- 391 - 4263
Fax +49 5331 93933152
r.asghari@tu-braunschweig.de
www.tu-braunschweig.de/entrepreneurship

4. Doktorandenseminar der Klebtechnik

Am 1. und 2. Oktober 2013 fand das vierte Doktorandenseminar der Klebtechnik am Fraunhofer IFAM in Bremen statt. An den zwei Tagen trafen sich 13 Doktoranden sowie deren Professoren und Gruppenleiter und berichteten über ihre Promotionsthemen. Seitens des *ifs* stellten Hinrich Grefe („Einfluss der Randschicht auf die Zug-scherfestigkeit geklebter Faserverbundwerkstoffe bei schlagartiger Belastung“), Kristian Lippky („Untersuchungen der Zugscher-Eigenschaften von wärmeunterstützten Pressfügeverbindungen“) sowie Manuel Schiel („Kinetische Analyse zur Ermittlung vernetzungsgradabhängiger Materialeigenschaften“) ihre aktuellen Arbeiten vor. Ein besonderer Schwerpunkt der jährlichen Veranstaltung liegt hierbei auf dem intensiven Austausch über die Forschungstätigkeiten, sodass wertvolle



Informationen der Kollegen in die weiteren Arbeiten am Institut mit einfließen können.

Neben den fachlichen Gesprächen steht auch das gegenseitige Kennenlernen im Vordergrund der Veranstaltung. Hierzu sind alle Teilnehmer der Einladung in den Bremer Ratskeller gefolgt, sodass weitere Gespräche in gemütlicher Atmosphäre geführt werden konnten. Ein besonderer Dank für die finanzielle Unterstützung gilt hierfür dem Gemeinschaftsausschuss Klebtechnik (GAK). Die Inhalte aller Vorträge wurden zudem aufbereitet und werden in Kürze seitens der DVS Media als DVS-Berichte veröffentlicht.

Glückwünsche zur Promotion



Mark Stadtaus zwischen Prof. Dr.-Ing. Bernd Viehweger (links außen), Univ. Prof. Dr.-Ing. habil. Vesselin Michailov – beide Uni Cottbus – und rechts Univ. Prof. Dr.-Ing. Klaus Dilger

Titel der Dissertation:
FE-Simulation der Verteilung von Wasserstoff und Stickstoff in Schweißverbindungen



Jan-Dirk Reimers

Gutachter:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Dilger;
Prof. Dr.-Ing. Stefan Böhm

Titel der Dissertation:
Entwicklung einer Fertigungsmethodik zur automatisierten Herstellung von Haftklebstoffbeschichtungen



Forum Fügetechnik



© sabok |2013|

Freitag, 7. Februar 2014

Das Forum Fügetechnik ist am ifs als neue Veranstaltung etabliert worden und dient gleichzeitig als Ehemaligentreffen sowie Netzwerk-Veranstaltung. Aktuelle Themen aus der Fügetechnik wurden

von ehemaligen sowie aktuellen Mitarbeitern in einer Vortragsreihe vorgestellt und lebhaft diskutiert. Die große Bandbreite der Vortragsthemen zeigt auch die interdisziplinäre Ausrichtung des ifs: So ging es über Aktuelles aus der erneuerbaren Energieversorgung zu unterschiedlichsten Forschungen im Bereich der Fügetechnik bis zum Fügen mit Hilfe von reaktiven Multischichtsystemen. Zugleich gab Prof. Dilger noch einen umfassenden Einblick in den Open Hybrid LabFactory e.V. sowie dessen strategische Ausrichtung im Bereich Leichtbau und innovative Werkstoff- und Fertigungstechnologien.

Mit der Zusage, diese Art des Dialogs zum festen Bestandteil der Institutskultur am ifs werden zu lassen, wurde die Veranstaltung erfolgreich beendet. Der 1. Freitag im Februar soll zukünftig turnusmäßig für die Veranstaltungsreihe Forum Fügetechnik vorgesehen werden. Zum Ende des Treffens wurde allen Teilnehmern die Möglichkeit geboten, das Institut inklusive zahlreicher Labore und Versuchsstände zu besichtigen, welche durch die betreuenden Mitarbeiter vorgestellt wurden.

Um die 40 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem gesamten Bundesgebiet fanden somit am 7. Februar den Weg an ihre alte Wirkungsstätte – natürlich auch, um sich rückblickend über Erinnerungen an das rege

Institutslieben auszutauschen und über die aktuell vorgestellten Projekte zu fachsimpeln. Der Austausch im persönlichen Dialog wurde bei der Abendveranstaltung im Clubraum des Restaurants „Wahre Liebe“ noch intensiviert.

Der Dank gilt den Organisatoren sowie den Gastgebern der Veranstaltung, hier insbesondere Prof. Klaus Dilger und Dr. Michael Frauenhofer.



Alumnitreffen

Neuzugänge



M.Sc. **Michael Griese** hat das Studium des allgemeinen Maschinenbaus an der TU Braunschweig im Mai 2013 abgeschlossen und arbeitet seit Juni 2013 am *ifs* in der Abteilung Klebtechnik/Simulation. Schwerpunkt seiner Arbeit ist die numerische Berechnung von Sandwichverbindungen, das Schweißen thermoplastischer Faserverbunde sowie die Analyse dynamisch beanspruchter Klebverbindungen.



B. Eng. **Nurudeen Osanyinpeju** ist seit dem 1. August 2013 als technischer Mitarbeiter am *ifs* tätig. Seit der Beendigung seines Studiums der Elektrotechnik an der FH Aachen unterstützt er die Abteilung Klebtechnik in der Außenstelle Aachen. Sein Aufgabenbereich umfasst dabei neue Entwicklungen im Bereich der UV-LED-Technik sowie die Sensorentwicklung für klebtechnische Fragestellungen.



M.Sc. **David Blass** hat im Oktober des vergangenen Jahres seine Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am *ifs* begonnen. Er beschäftigt sich in der Abteilung Faserverbundtechnologie mit der Klebvorbehandlung und der Reparatur von CFK-Bauteilen mittels Laser.



M. Sc. **Sevag Awakian** hat im Juli 2013 sein Masterstudium „angewandte Polymerwissenschaften“ an der FH Aachen abgeschlossen und arbeitet seit dem 15.

Oktober 2013 als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Klebtechnik in der Außenstelle in Aachen. Derzeitig beschäftigt sich Herr Awakian mit der UV-LED vernetzenden Haftklebstoffproduktion und untersucht die Acrylatklebstoffe hinsichtlich ihrer Reaktionskinetik und Rheologie.



Dipl.-Wirt.-Ing. **Ruben Eicheleiter** ist seit dem 1. Januar 2014 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am *ifs* beschäftigt. Er hat in Paderborn Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau mit den

Schwerpunkten Leichtbau und Verbindungstechnik studiert. In der Konzernforschung der Volkswagen AG liegt sein Forschungsschwerpunkt auf der Untersuchung $\Delta\alpha$ -toleranter mechanischer Fügeverfahren für Karosseriestrukturen in Mischbauweise.



M. Sc. **Kai Mi Yang** hat im November 2013 sein Maschinenbaustudium mit den Schwerpunkten Fahrzeugtechnik und Produktionsmanagement an der TU München abgeschlossen. Seit Anfang des

Jahres ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am *ifs* tätig und untersucht im Auftrag der AUDI AG das Kleben von Mischbauweisen.



Dipl.-Ing. **Markus Köhler** ist seit Februar diesen Jahres wissenschaftlicher Mitarbeiter am *ifs* in der Abteilung Strahltechnik. Er beschäftigt sich mit

Untersuchungen zur Herstellung von überlackierfähigen Nachverzinkungen an Laserschweißverbindungen verzinkter Stahlfeinbleche. In der Lehre betreut er die Vorlesung „Werkstofftechnologie 2“.



Dipl.-Ing. **Levent Jusufi** – Maschinenbaustudium an der Universität Paderborn – war während seiner Diplomarbeit in der Konzernforschung der Volkswagen AG

in der Abteilung Werkstoffe und Fertigungsverfahren tätig. Seit März 2014 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am *ifs*. Thematisch untersucht er bei der Volkswagen AG neue Simulationsmethoden im Bereich der Kleb- und mechanischen Füge-technik.



Dipl.-Ing. **Markus Mannig** – Maschinenbaustudium mit dem Schwerpunkt Maschinentechnik an der TU Dortmund – unterstützt seit April diesen Jahres die Ab-

teilung Faserverbundtechnologie am *ifs* als wissenschaftlicher Mitarbeiter. Seine Aufgabe ist die Erforschung von Fertigungsprozessen zum demokratisierten Leichtbau materialhybrider Komponenten. Zusätzlich beschäftigt er sich in diesem Rahmen mit dem Aufbau und der Betreuung des Projektes „Open Hybrid LabFactory“ am Standort Wolfsburg als Teil der Initiative Forschungscampus.



M. Sc. **Ann-Christin Hesse** hat im Anschluss an ihr Studium des allgemeinen Maschinenbaus an der TU Braunschweig eine Stelle als wissenschaftliche Mitarbeiterin am *ifs* in der Abteilung Festigkeit und Bauteilverhalten angenommen. Sie untersucht die Einflüsse von Härte- und Gefüge-

zustand strahlgeschweißter Verbindungen auf deren Verformungs- und Tragverhalten.



Dipl.-Ing. **Dennis Weiser** hat an der RWTH Maschinenbau mit Vertiefungsrichtung Medizintechnik studiert. Seit Juni ist er am *ifs* in der Außenstelle Aachen

tätig. Dort beschäftigt er sich im Bereich der Klebtechnik mit dem möglichen Einsatz von elektrisch leitfähigen Klebstoffen in Stacks aus graphitischen und metallischen Brennstoffzellen.



Technische Universität Braunschweig
Institut für Füge- und Schweißtechnik
Geschäftsführender Leiter
Universitätsprofessor Dr.-Ing. K. Dilger

Langer Kamp 8
38106 Braunschweig
Deutschland

Tel. +49 (0) 531 391-7820 bis September –
danach neue Nebenstellen-Nr.: -95501

Fax +49 (0) 531 391-5834 bis September –
danach neue Nebenstellen-Nr.: -95599

E-Mail: jfs-bs@tu-braunschweig.de
www.jfs.tu-braunschweig.de

IMPRESSUM

Herausgeber: Institut für Füge- und Schweißtechnik
Verantwortlich: K. Dilger
Redaktion: S. Müller
Grafik: B. Wolfrum

