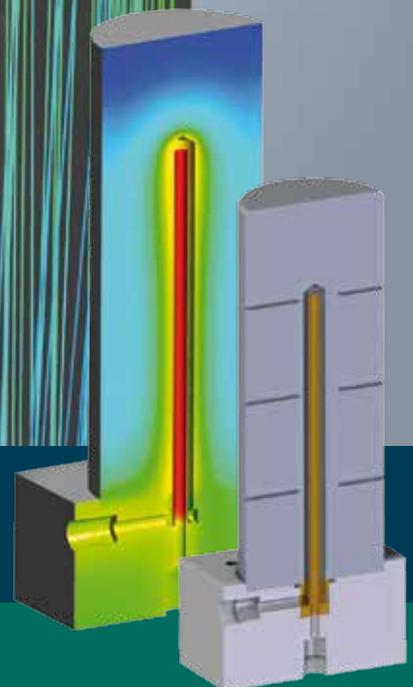




Technische
Universität
Braunschweig

Institut für Füge- und
Schweißtechnik

ifs



report

7. Jahrgang | Ausgabe 2 | 2012

Liebe Freunde der Fügetechnik



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

Das Jahr 2012 war geprägt von Herausforderungen. In der Lehre wurde der „doppelte Abiturjahrgang“ betreut, was bedeutet, dass über 800 Erstsemester in Vorlesungen, Hörsaalübungen und in kleinen Laborübungen begleitet wurden. Es mussten dementsprechend viele Klausuren korrigiert werden, was auch für ein Institut unserer Größe nicht so einfach nebenbei gemacht wird. Nicht zu vergessen all die anderen Lehrveranstaltungen in den höheren Semestern der Bachelor- und der Masterstudiengänge.

Die von einigen wissenschaftlichen Mitarbeitern des ifs in Eigenverantwortung gegründete und geführte „AG Lehre“ hat hier im besonderen Maße zum Gelingen beigetragen. Dies gilt auch für die Neukonzeption der Lehrveranstaltungen, die die werkstofftechnologischen und fügetechnischen Inhalte der Ingenieurausbildung zukünftig weiter fokussiert.

Im Bereich der Forschung wurde selbstverständlich – wie in allen Jahren – eine Vielzahl von Projekten bei der DFG, dem BMBF, der AiF und anderen forschungsfördernden Institutionen eingereicht und häufig auch zur Förderung empfohlen bzw. die entsprechenden Fördergelder bewilligt. Die Herausforderung in diesem Jahr bestand darin, einen großen Forschungsverbund im Rahmen der ForschungsCampus-Initiative des BMBF zu koordinieren. Die engagierte Mitarbeit vieler Kollegen hat einiges an Anstrengung erfordert, und manches mag auch etwas zu kurz gekommen sein. Dennoch hat es sich gelohnt! Wir haben als eines von 10 Clustern aus über 90 Bewerbungen diesen hochdotierten Wettbewerb gewonnen und werden in den nächsten Jahren ein Kompetenzzentrum zur Produktion hybrider Leichtbaustrukturen aufbauen, das keinen Vergleich scheuen muss. Hierüber und über einige aus unserer Sicht weitere spannende Forschungsarbeiten mehr in diesem report.

Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Lesen!

A handwritten signature in blue ink that reads "Ihr Klaus Dilger". The signature is written in a cursive, flowing style.

AiF Cornet CrabLacs

Crash Resistant Adhesive Bonding on lacquered surfaces

In einem internationalen Forschungsvorhaben beschäftigten sich die Mitarbeiter des Instituts für Füge- und Schweißtechnik, des Laser Zentrums Hannover e. V. sowie des Frederick Research Center in Nicosia (Zypern) mit der Fragestellung einer möglichen Klebbarkeit endlackierter Fügepartner aus dem Automobilbau.



Quelle: BMW

Der verstärkte Einsatz von Multi-Material-Strukturen fordert ein Umdenken bezüglich der Fertigungsverfahren im strukturellen Automobilbau. Während strukturelle Klebstoffe bisher vor allem im Karosserie- rohbau aufgebracht und nach dem Aufbringen der kathodischen Tauchlackierung (KTL) ausgehärtet werden, ist dies bei Nutzung neuer Materialien nicht mehr möglich. Die bestehenden Prozessabläufe müssen somit überdacht und angepasst werden. Eine weitere Herausforderung besteht darin, dass die Klebungen nun im Prozessablauf nach der Lackierung erfolgen und die Fügestellen somit bereits durch den Lack bedeckt sind. Es gilt also zu klären, ob die geforderten mechanischen Eigenschaften der Fügeverbindung auch auf der Lackierung erreicht werden können. Das abgeschlossene Forschungsvorhaben hat zum einen Möglichkeiten der Charakterisierung des mechanischen Verhaltens von Klebungen auf Lack und zum anderen Möglichkeiten einer Prozess-

anpassung zur Lackentfernung vor dem Kleben untersucht. Ausgewählte Ergebnisse werden an dieser Stelle kurz dargestellt.

Mechanische Charakterisierung

Klebstoffe werden im Verbund vornehmlich auf ihre mechanischen Eigenschaften, wie zum Beispiel das Spannungs-Dehnungs-Verhalten oder die Festigkeit, hin überprüft. Lacke hingegen sollen die Oberfläche vor Kratzern, Schmutz oder korrosiven Angriffen schützen sowie gute optische Eigenschaften erzielen. Sollen nun Klebungen auf Lacken ausgeführt werden, so müssen deren mechanische Eigenschaften ebenfalls ermittelt werden, da die Gesamtleistung des Verbundes von jedem einzelnen Fügepartner abhängt. Zur mechanischen Charakterisierung von reinen Metallklebungen existieren bereits zahlreiche genormte Prüfverfahren. Die bisher verfügbaren Lackprüfverfahren, wie zum Beispiel der Gitterschnitt- oder Stirnabzugstest, zielen auf eine qualitative

Bewertung der einzelnen Parameter im Vergleich zwischen zwei oder mehreren Lackaufbauten hin. Zur Ermittlung mechanischer Eigenschaften des Gesamtverbundes aus Fügeteil, Lack und Klebstoff wurden in einem ersten Schritt Zugscherproben nach DIN EN 1465 gefertigt und geprüft. Abbildung 1 zeigt die erreichten Zugscherfestigkeiten sowie schematisch das Versagen der Verbindung. Auf dem gestrahlten Automobilblech war zum Teil adhäsives Versagen zu erkennen, welches die gesteigerte Festigkeit auf der weißen Lackierung erklärt. Eine Optimierung der Vorbehandlung hinsichtlich erhöhter Zugscherfestigkeiten auf dem Blech wurde nicht durchgeführt, da die zentrale Fragestellung die Charakterisierung des Gesamtverbundes war. Im Vergleich zu den beiden genannten Ergebnissen erzielt der silberne Lackaufbau eine deutlich schlechtere Performance. Das Versagen tritt hier bereits bei ca. 10 MPa und somit weit unter den vom projektbegleitenden Ausschuss geforderten 15 MPa auf. Kritisches Element ist hierbei die farbgebende silberne Farbschicht, die in allen durchgeführten Versuchen die schlechtesten Festigkeitswerte erreichte. Grund hierfür sind die zur Erzielung des metallischen Effekts eingebrachten Partikel, die als Störstellen in der umgebenden Matrix wirken und so ein frühes Versagen provozieren.

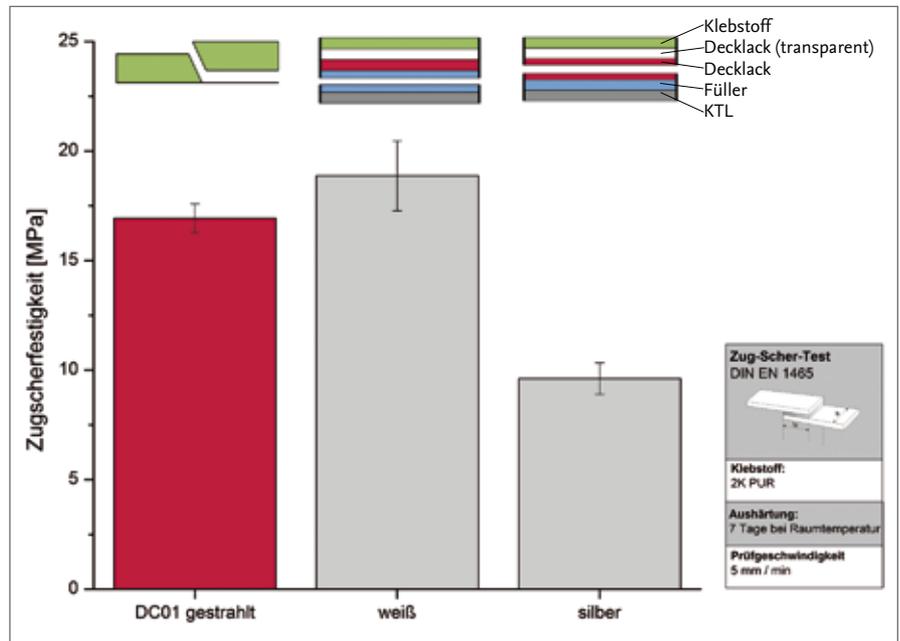


Abbildung 1: Zugscherfestigkeit nach DIN EN 1465 auf lackierten Fügeteilen

Verbundes. Aus diesem Grund wurden für die Untersuchungen im Crashfall zum einen längere Klebflächen verwendet und zum anderen ein weiterer Beanspruchungszustand untersucht. Eine geeignete Probengeometrie hierfür ist die lange T-Peel Probe.

Die aufgenommenen Kraft-Zeit-Verläufe (vgl. Abbildung 2) zeigen jeweils einen deutlichen Peak am Beginn des Versagens.

der Klebung auf dem gesamten Lackaufbau (Abb. 2b und 2c) ist ein solches Plateau nicht zu erkennen. Die Klebung versagt jeweils unmittelbar nach der ersten Belastung. Weiterhin sind die auftretenden Lastniveaus deutlich geringer. Bei Betrachtung der Bruchflächen ist deutlich zu erkennen, dass im Fall der Klebung auf KTL ein kohäsives Versagen der Klebschicht vorliegt und der Klebstoff somit optimal ausgenutzt wird. Es wird so viel Energie aufgenommen

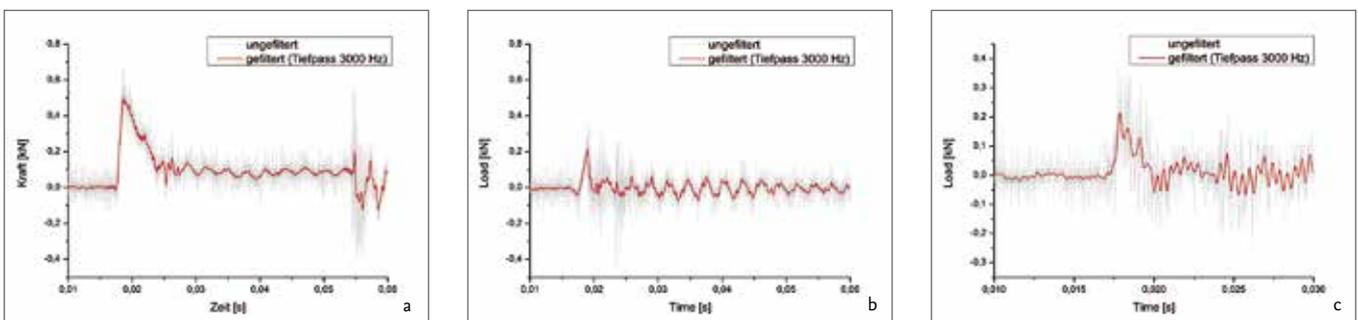


Abbildung 2: Kraft - Zeit - Verlauf der T-Peel Prüfungen unter Crashbeanspruchung, links: KTL, Mitte: weiß, rechts: silber

Die Untersuchungen im Projekt wurden nicht nur, wie oben beschrieben, unter quasistatischen Bedingungen, sondern auch unter hohen Beanspruchungsgeschwindigkeiten durchgeführt. Die Erkenntnisse aus den Zugscherversuchen zeigen ein sprödes Versagen des

Im weiteren Verlauf der Messung bildet sich im Fall der Klebung auf der KTL-Schicht ein Plateau bei ca. 100 N aus, welches bis zum Versagen nach 0,55 s Prüfdauer bestehen bleibt. Die Fläche unter dieser Kurve ist ein Maß für die im Crashfall aufgenommene Energie. In den beiden Fällen

men, dass auch die Fügeteile plastisch verformt werden. Die weiße Lackierung versagt hier zwischen dem transparenten Decklack und dem weißen Basislack, der silberne Lackaufbau versagt, wie schon im Fall der dünnen Zugscherprobe, in der silbernen Farbschicht (vgl. Abbildung 3).



Abbildung 3: Bruchflächen der T-Peel Proben (links: KTL, Mitte: weiß, rechts: silber)

Prozessanpassung/Lackentfernung

Die mechanischen Versuche haben gezeigt, dass bei dem klebtechnischen Fügen lackierter Bleche die Festigkeit des Lackaufbaus mit betrachtet werden muss. Dieser stellt das schwächste Glied dar und ist somit bei der Auslegung des Verbundes gesondert zu berücksichtigen. Eine weitere Möglichkeit bietet die Entfernung einzelner oder mehrerer Lackschichten im Vorfeld des Klebprozesses. Hierzu wurde untersucht, inwieweit ein selektiver Lackabtrag mittels Laser möglich ist. Die Laserparameter, wie Laserwellenlänge oder Ausgangsleistung, sollten so gewählt werden, dass der Abtrag selbstständig auf der KTL-Schicht stoppt. Diese Strategie erfordert, dass die oberen Schichten eine kleinere Abtragschwelle als die darunterliegende KTL-Schicht aufweisen. Die KTL-Schicht sollte unbeschädigt bleiben, um deren Versiegelungswirkung aufrecht zu erhalten. Erste Abtragsversuche mit unterschiedlichsten Laserwellenlängen haben jedoch gezeigt, dass ein solcher selbstbegrenzender Abtrag

nicht möglich ist. Werden die Parameter so gewählt, dass die Füllerschicht entfernt wird, so wird auch die KTL-Schicht angegriffen.

Die zweite mögliche Strategie zur Lackentfernung ist ein parametergesteuertes Entfernen der einzelnen Schichten. Hierzu wird der Lackaufbau mit speziell angepassten Parametern derart behandelt, dass aus dem Abtragsprozess eine gut reproduzierbare, festgelegte Restschichtdicke resultiert. Die Herausforderung besteht bei dieser Strategie darin, bei variierender Ausgangsschichtdicke die festgelegte Restschichtdicke mit kleinstmöglichen Toleranzen zu erreichen. Der laserbasierte Lackabtrag fand am Laser Zentrum Hannover e. V. und bei Clean Lasersysteme GmbH, einem Mitglied des projektbegleitenden Ausschusses, statt.

Neben dem beschriebenen lasergestützten Abtragsverfahren ist auch der Abtrag durch Atmosphärendruckplasma denkbar. Hierzu wurden Versuche in Zusammenarbeit mit einem weiteren Mitglied des projektbeglei-

tenden Ausschusses, Plasmatreat GmbH, durchgeführt. Hierbei wurde die Anzahl der Wiederholungen mittels durchgeführter Lackschichtdickenmessungen ermittelt.

Im Anschluss an die verschiedenen Abtragsverfahren wurden aus den Probeblechen Zugscherproben nach DIN EN 1465 gefertigt und geprüft. Die Ergebnisse hierzu sind in Abbildung 4 dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass die erreichten Zugscherfestigkeiten, bedingt durch eine geeignete Vorbehandlung, signifikant ansteigen und im silbernen Fall die Festigkeit annähernd verdoppeln.

Zusammenfassung

Die präsentierten Ergebnisse haben gezeigt, dass bei Klebungen auf Lack der gesamte Aufbau der Verbindung in die strukturelle Auslegung mit einbezogen werden muss. Die Verbundeigenschaften werden in diesem Fall maßgeblich durch die Eigenschaften einzelner Lackschichten bestimmt, so dass diese durch geeignete Prüfmethoden gesondert untersucht werden müssen.

Das IGF-Vorhaben 34 EN der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e.V. des DVS, Düsseldorf, wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Autoren:

Dipl.-Ing. Manuel Schiel

Dr. rer. nat. Fabian Fischer

Ansprechpartner:

m.schiel@tu-braunschweig.de

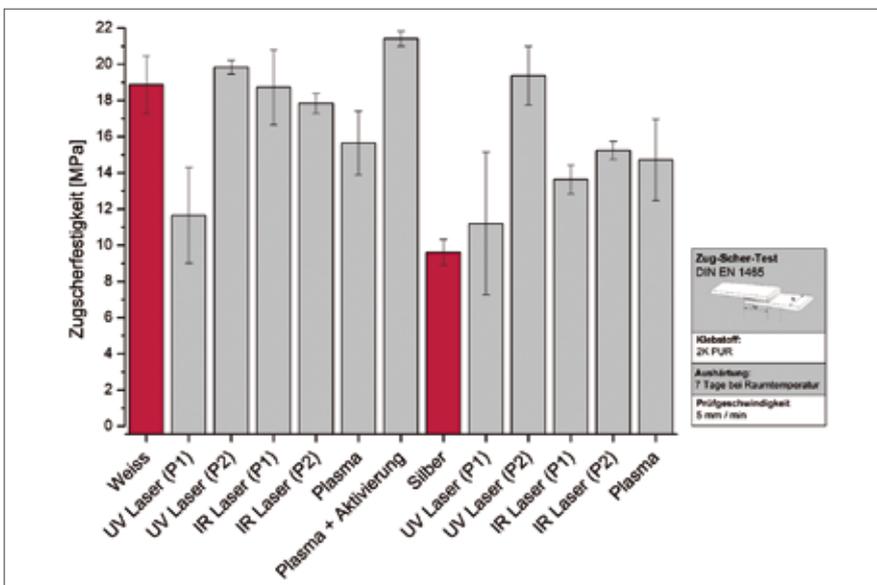


Abbildung 4: Vergleich der erreichten Zugscherfestigkeit nach verschiedenen Vorbehandlungen

Schweißen dicker Bleche unter Baustellenbedingungen

Baustellenschweißungen, wie sie z. B. im Brücken- oder allgemeinen Stahlhochbau üblich sind, finden im Gegensatz zur Werkstattfertigung unter erschwerten Rahmenbedingungen statt. Gerade bei dicken Blechen stellen Baustellenschweißungen nicht nur besondere Anforderungen an den ausführenden Betrieb, sondern auch an den Konstrukteur. Wichtig ist die Kenntnis der sich einstellenden Schrumpfung der Bauteile sowie der auftretenden Verzüge und Eigenspannungen.



Abbildung 1: Kreuzungsbauwerk, Dresden-Neustadt [Quelle: IMO Leipzig]

Die Herausforderung für die Konstrukteure ergibt sich aus den Rahmenbedingungen eines Montagestoßes auf der Baustelle. Diese sind zum einen mögliche niedrige Temperaturen bis unter den Gefrierpunkt sowie Imperfektionen der in der Werkstatt vorgefertigten und auf die Baustelle transportierten Komponenten.

Klimatische Einflüsse, wie Wind und Niederschläge, können durch Einhausungen (Abbildung 1) des Montageortes von der Schweißstelle abgehalten werden. Problematisch ist jedoch, dass durch den Zeit- und Kostendruck Schweißungen auch bei Temperaturen unter null Grad Celsius ausgeführt werden. Um eine einwandfreie Schweißnaht zu erhalten, werden in diesem Fall die Nahtstellen mit Gasbrennern und Heizmatten vorgewärmt. Dennoch ergeben sich nicht voraussehbare Abkühlbedingungen. Bei entsprechender Abkühlung kann die Härte je nach verwendetem Werkstoff in der WEZ sehr hoch werden. Damit einher geht eine lokale Verringerung der Zähigkeit, die somit einen metallurgischen Schwachpunkt in der Konstruktion darstellt. Ein weiterer Aspekt ist die Abschätzung der Schrumpfung sowie der Einfluss der fertigungsbedingten Bauteilverzüge, welche zu ungleichmäßigen Lastspannungszuständen im Bauteilquerschnitt führen können. Weiterhin kann es zu Winkelschrumpfungen kommen, welchen nur durch geschickte Schweißfolgepläne entgegengewirkt werden kann. Die Erstellung dieser Schweißfolgepläne erfolgt erst durch den die Schweißungen ausführenden Betrieb, mit dem Ziel, die strengen geometrischen Maßanforderungen an den Endquerschnitt einzuhalten. Der daraus resultierende Eigenspannungszustand nach der Montage bleibt bei der Planung unberücksichtigt.

Im Rahmen dieses Vorhabens liegt der Fokus somit auf den zwei beschriebenen Randbedingungen eines auf einer Baustelle auszuführenden Montagestoßes. Diese sind die Berücksichtigung des gesamten Temperaturspektrums, wie es bei Baustellenschweißungen vorliegen kann, sowie die Beachtung von möglichen Imperfektionen

der zu verschweißenden Bauteile, resultierend aus einer Vorfertigung in der Fabrik und dem Transport zum Montageort.

Experiment

Die erwähnten Baustellenbedingungen beziehen sich bei diesen Untersuchungen auf den signifikanten Einfluss tiefer Temperaturen und unterschiedlicher Abkühlbedingungen. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden sowohl theoretische Untersuchungen bzw. numerische Simulationen des Fügeprozesses als auch eine umfassende experimentelle Verifikation unter realen Temperaturbedingungen durchgeführt.

Zunächst wurden, nach Festsetzen eines branchentypischen Montagestoßes und der zu untersuchenden Bauteilabmessungen (Abbildung 2), die Teildemonstratoren unter konstanten Werkstattbedingungen hergestellt.

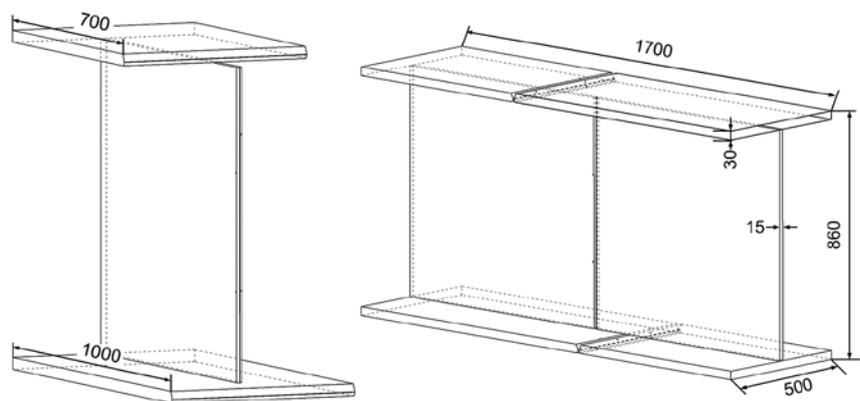


Abbildung 2: Bauteilabmessungen [mm] – Teildemonstrator (links) und Demonstrator nach durchgeführtem Montagestoß (rechts), Stahlgüte S355NL2

Die Schweißarbeiten wurden von der Stahlbau Dessau GmbH & Co. KG durchgeführt und messtechnisch durch das ifs begleitet. Neben taktilen Verformungsmessungen mit induktiven Wegaufnehmern wurden auch die Temperaturprofile aufgezeichnet (Aufbau s. Abb 3), die, zusammen mit den anschließend erstellten Makroschliffen der WEZ (Abbildung 4), Eingangsgrößen für die numerischen Untersuchungen darstellen.

An den Musterbauteilen, die normalerweise auf der Baustelle mit Hilfe von Mehrlagenschweißungen gefügt werden, fanden

experimentelle und numerische Untersuchungen statt. Besonders günstig wirkt sich bei dem Mehrlagenschweißen das Überschweißen der unteren Lagen aus. Jede weitere Lage erwärmt die darunter liegende, so dass eine Rekristallisation und ein Anlassen harten Gefüges erfolgen kann. Die Gefügestruktur wird sich in der Schweißnaht in der Regel umso homogener einstellen, je größer die Zahl der geschweißten Lagen ist. Das kann hier in Abbildung 5 exemplarisch anhand der Härteverteilung des verschweißten Obergurtes dargestellt werden.

Neben den Temperaturfeldern ist eine exakte Erfassung der Verzüge unbedingt notwendig, um die Imperfektion der werkseitig vorgefertigten Komponenten bei der Berechnung des Montagestoßes zu berücksichtigen, die bei der Konstruktion und Planung von Brücken- oder Stahlhochbau-

ten zu nicht vorhersehbaren Eigenspannungszuständen führen und nicht ausreichend berücksichtigt werden. Der gemessene Verzug stellt als Ausgangszustand zugleich eine wichtige Eingangsgröße für die aussagekräftige Beurteilung der Eigenspannungen anhand einer geometrisch nichtlinearen Simulation dar.

Die entstehenden Eigenspannungen hängen neben den vorhandenen Schrumpfungshinderungen auch von den Abkühlbedingungen ab. Diese wurden experimentell in einer Klimakammer nachgestellt.



Abbildung 3: Teildemonstrator mit Thermoelementen und Wegaufnehmern

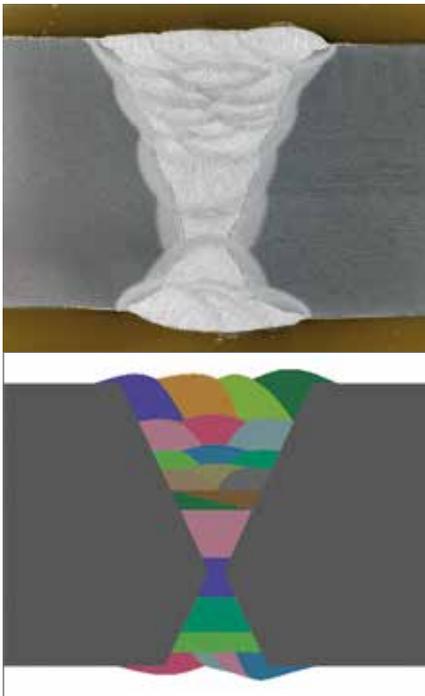


Abbildung 4: Makroschliff aus Obergurt – t=30mm (oben), abgeleiteter Nahtaufbau für das numerische Modell (unten)

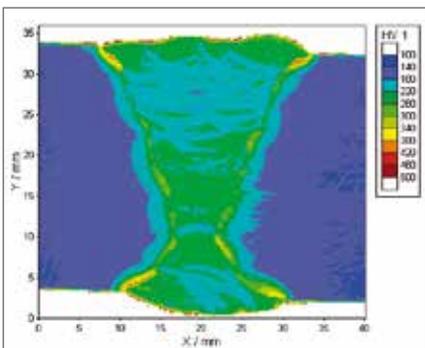


Abbildung 5: Härteverteilung eines verschweißten Flansches nach durchgeführtem Montagestoß

Nachdem die Teildemonstratoren hergestellt worden sind, wurden jeweils zwei Teile zu einem Demonstrator verschweißt. Das Fügen erfolgte in einem hierfür konzipierten Konstruktionsrahmen in einem Großklimaraum unter Variation der Umgebungstemperaturen zwischen -10 °C und 20 °C Raumtemperatur, um das mögliche Spektrum der thermischen Effekte beim Schweißen dicker Bleche, insbesondere des Montagestoßes unter Baustellenbedingungen, zu untersuchen. Temperaturen unterhalb von -10 °C wurden nicht untersucht, da dies nach deutschen Arbeitsschutzgesetzen die tolerierbare Grenze für das Schweißen bei niedrigen Temperaturen darstellt.

Im Anschluss an den Schweißprozess erfolgte die Ermittlung des resultierenden Oberflächeneigenspannungszustandes mittels Röntgenbeugung. Für die Durchführung der Eigenspannungsmessungen steht am Institut für Füge- und Schweißtechnik eine speziell für Messungen großer Bauteile ausgelegte Messkabine zur Verfügung. Somit können Proben bis 1,20 m Höhe und einer Gesamtlänge von bis zu 2,0 m untersucht werden (Abbildung 6).

Numerische Simulation

Die Schweißsimulation erfolgte mit Hilfe der Software SYSWELD®. In einem ersten Schritt wurde durch ein Volumenmodell einer geeigneten Ersatzwärmequelle das experimentell bekannte Temperaturfeld in einer Wärmeleitungsrechnung abgebildet. Eine Validierung des Temperaturfeldes fand anhand der im Experiment punktuell mit Thermoelementen gemessenen Temperaturkurven während des Vorwärmens, Schweißens und Abkühlens statt. In einem anschließenden Berechnungsschritt wurden die ermittelten Temperaturen als Randbedingungen in eine strukturmechanische Berechnung eingebracht. Diese erfolgt auf der Grundlage der im Rahmen einer Werkstoffsimulation betrachteten

Umwandlungsvorgänge in Form einer elastisch-plastischen Strukturberechnung. Die Eigenschaften des verwendeten Werkstoffes und deren Abhängigkeit von der Temperatur sind dabei entscheidende Größen. SYSWELD® enthält bereits Modelle zur Berücksichtigung von Umwandlungsvorgängen und wurde bereits vielfach zur Vorhersage von Schweißspannungen und -verzügen eingesetzt.

Ein Vergleich der Temperaturfelder sowie Verzüge und Eigenspannung von Berechnung und Experiment erfolgte auf der Grundlage der oben beschriebenen experimentellen Ergebnisse. Abbildungen 7 und 8 zeigen exemplarisch den Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Temperaturen und Verzügen für die Teildemonstratorherstellung. Eine gute Übereinstimmung der berechneten und gemessenen Werte liegt vor.

Neben Temperaturen und Verzügen wurden auch Eigenspannungen berechnet. Abbildung 9 zeigt exemplarisch den Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Eigenspannungen. Obwohl man hier von einer qualitativen Übereinstimmung der gemessenen und berechneten Verläufe sprechen kann, variieren die Werte teilweise um über 200 MPa.

Bei Bauteilen dieser Abmessung werden die FE-Netze aufgrund der Nahtlänge sehr groß, obgleich eine feine Diskretisierung nur im nahtnahen Bereich erfolgen muss (Abbildung 10). Im Sinne einer schnellen Ergebniserzeugung bei ausreichendem Genauigkeitsgrad müssen bei der Anwendung der FE-Analyse meist Vereinfachungen vorgenommen werden. Im vorliegenden Fall wurden die Gurtbleche losgelöst vom restlichen Bauteil modelliert, was zu Vereinfachungen im Bereich der Lagerungs- und Einspannbedingungen des Modells führt.

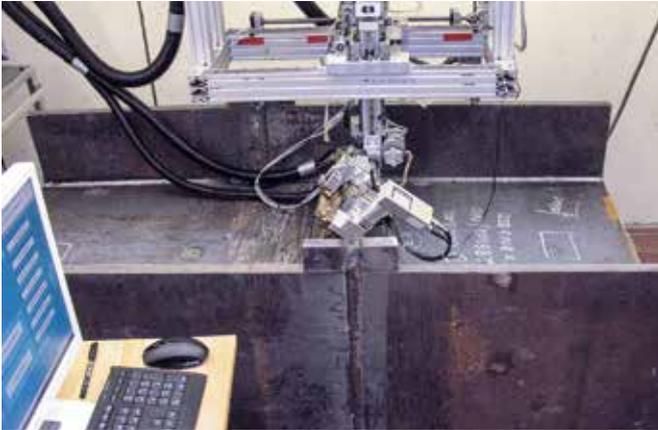


Abbildung 6: Eigenspannungsmessung am Stegblech

Diese angenommenen Vereinfachungen werden als Ursache für die Abweichung zwischen der Simulation und dem Experiment gesehen. Im nächsten Bearbeitungsschritt soll ein kompletter Montagestoß unter Einhaltung der realen Randbedingungen untersucht werden.

Zusammenfassung

Durch numerische Berechnungen wurde ein globales Abbild der auftretenden Verzüge und Eigenspannungen erstellt und mit den experimentell ermittelten Werten validiert. Dieses soll in den nächsten Schritten optimiert werden und dient anschließend als Basis für die noch durchzuführenden numerischen Traglastberechnungen und Schwingfestigkeitsanalysen.

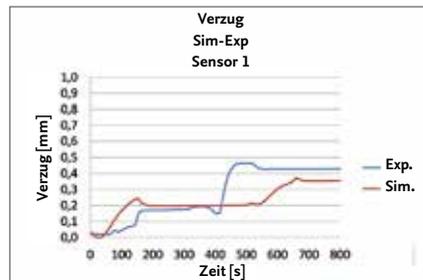
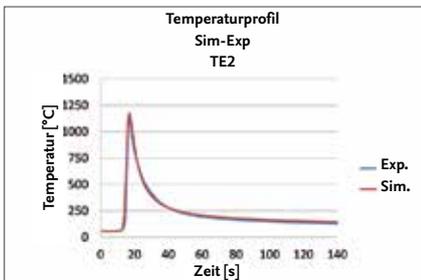


Abbildung 7 und 8: Vergleich der gemessenen und berechneten Temperaturverläufe (links) und Verzüge (rechts) exemplarisch an einer Messstelle

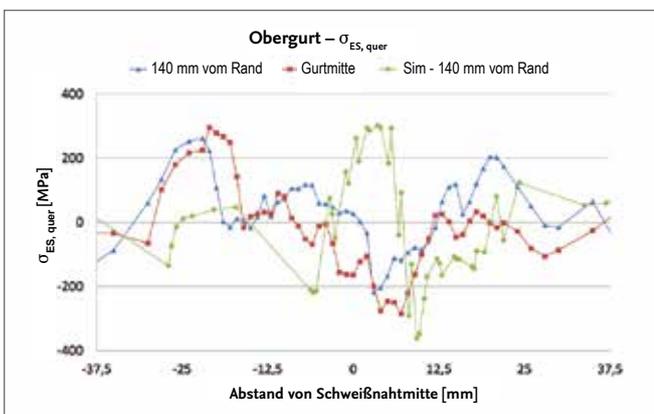


Abbildung 9: Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Eigenspannungen am Obergurt (bei Raumtemperatur geschweißt)

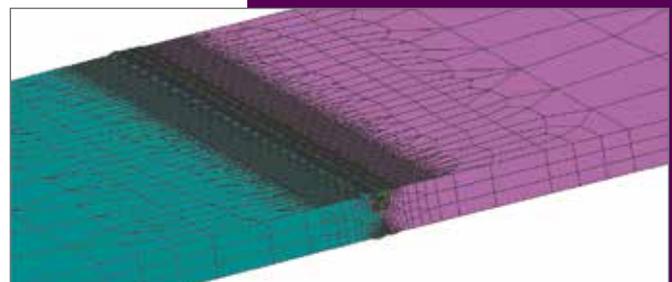


Abbildung 10: Vernetztes Modell für FE-Analyse – Gurtstoß (Ausschnitt aus dem nahtnahen Bereich)

Danksagung

Diese Untersuchungen werden finanziell durch die AiF gefördert und durch den DVS Fachausschuss FA I2 „Anwendungsnahe Schweißsimulation“ fachlich betreut.

Autoren:

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Jakob Klassen

Dr.-Ing. Thomas Nitschke-Pagel

Ansprechpartner:

j.klassen@tu-braunschweig.de

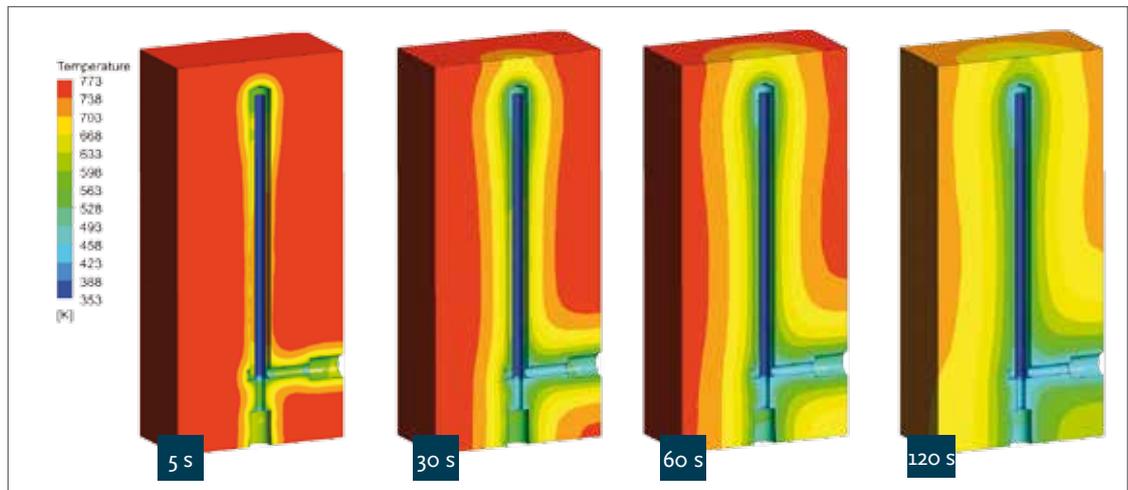
Untersuchungen zur Temperierung von Druckgießformen

Durch das Druckgießen wird ein breites Spektrum von Gussteilen mit geringer bis sehr hoher Komplexität aus Nichteisenmetallen gefertigt. Bedingt durch den anhaltenden Trend zum Leichtbau im Automobilsektor werden vermehrt besonders dünnwandige, duktile Strukturbauteile gefordert. Gleichzeitig wird nach wie vor ein breites Spektrum an komplexen Bauteilen gefertigt, die lokal größere Wandstärken aufweisen und über eine hohe Funktionsintegration verfügen.

Ein Schlüsselement für ein qualitativ hochwertiges Druckgussbauteil ist dabei die Temperierung der Druckgießform. Grundsätzlich wird dieser die Aufgabe zuteil, definierte Bereiche der Form auf einem konstanten Temperaturniveau zu halten bzw. eine bestimmte Temperatur an der Oberfläche zu einem diskreten Zeitpunkt zu erreichen. Ob bei der Temperierung geheizt oder gekühlt werden muss, geht stets mit dem zu vergießenden Bauteil einher. Während bei dünnwandigen Strukturbauteilen zusätzlich Energie in die Form eingebracht werden muss, um Vorerstarrungen der Schmelze während der Formfüllung zu minimieren, ist bei vergleichsweise massiven Bauteilen – wie z. B. bei Zylinderkurbelgehäusen oder Pumpengehäusen – eine Wärmeabfuhr durch die Temperierung notwendig. Die Wirtschaftlichkeit des Gießprozesses ist dabei zu einem hohen Grad davon abhängig, ob das Werkzeug ein optimaler Wärmetauscher ist. Die Leistungsfähigkeit einer Formtemperierung im Druckguss wirkt sich maßgeblich auf die folgenden drei Kriterien aus:

- Die Zykluszeit während der Produktion. Eine effiziente Temperierung ist in der Lage, einen hohen Temperaturgradienten zwischen dem Bauteil und der Form aufrecht zu erhalten. Aus der daraus resultierenden kürzeren Erstarrungszeit der Druckgussbauteile kann eine Reduzierung der Zykluszeit und somit eine Erhöhung der Ausbringung erreicht werden.
- Die Qualität der Druckgussteile. Durch eine gelenkte Erstarrung von einzelnen Bereichen kann die Neigung zu Schwindungsdefiziten verringert werden. Eine effiziente Temperierung kann Schwindungsdefiziten sowohl durch Kühlen (bei sogenannten ‚Hotspots‘) als auch durch Heizen (Aufrechterhaltung der Speisung bei dünnwandigen Strukturen) entgegenwirken.
- Die Standzeit der Druckgießform. Der Vorteil einer effizienten Temperierung liegt hier in der Minimierung der Temperaturdifferenz zwischen Formoberflächen- und Formtrennmitteltemperatur.

Abbildung 1: Transientes Temperaturfeld im Werkzeug bei Einsatz einer Stichelkühlung

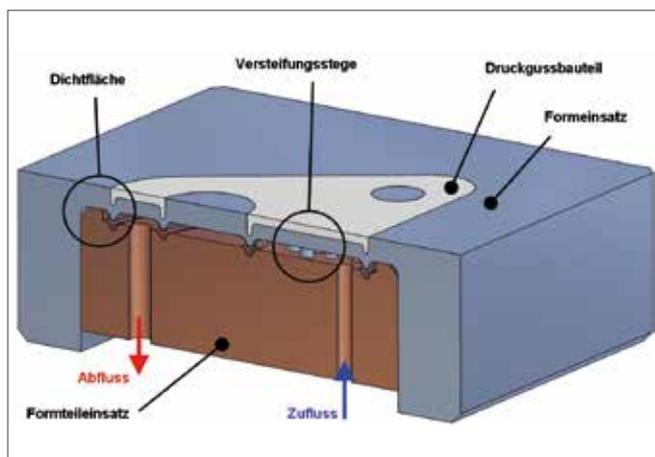


Vorhandene Technologien und Kenntnisse in der Formtemperierung sind allerdings nur bedingt dazu geeignet, die stetig wachsenden Anforderungen an diese drei Kriterien zu erfüllen. Als Problemstellung lassen sich folgende Felder identifizieren:

- eine begrenzte Wärmeleistung der konventionellen Temperiersysteme aufgrund geometrisch beschränkter Temperierkanalgeometrien,
- Wärmeverluste sowie eine ungenügende Regelbarkeit der Temperierung aufgrund großer Abstände der Temperierkanäle von der Formkontur,
- ungenügende Kenntnis der thermo-physikalischen Kennwerte für die numerische Simulation, um bereits bei der Konstruktion des Druckgießwerkzeuges die thermischen Verhältnisse beurteilen und prozessgerecht auslegen zu können.

Um mit der Lösung der genannten Problemstellungen voranzuschreiten, läuft derzeit ein Forschungsvorhaben am *ifs*, welches die Optimierung der Formtemperierung zum Ziel hat. Dabei werden berechnungs- und fertigungstechnische Aspekte bei der konstruktiven Auslegung der Temperierung berücksichtigt.

Abbildung 2: Beispiel für die Segmentierung eines gesamten Formeinsatzes



Bei dem berechnungstechnischen Abschnitt werden unter anderem der Druckverlust und der Wärmeübergang von einzelnen Temperierelementen mittels CFD-Simulation berechnet und mit realen Messungen korreliert. Die Temperierkreisläufe können somit hinsichtlich einer Reihen- bzw. Parallelschaltung optimal an die Pumpenkennlinie des Temperiergerätes angepasst werden, wodurch eine hohe Wärmeleistung des Formeinsatzes sichergestellt wird.

Abbildung 1 zeigt exemplarisch die Berechnung des transienten Temperaturfeldes für ein einzelnes Temperierelement (hier: Stichelkühlung). Aus dem Modell können die Wärmeübergangs- sowie die Widerstandszahl für unterschiedliche Temperiermedien in Abhängigkeit von Strömungsgeschwindigkeit und Temperaturdifferenz berechnet werden. Durch eine Ableitung von Kennwerten für einzelne Temperierelemente soll gewährleistet werden, dass zu einem späteren Zeitpunkt das Wissen auch von Werkzeugkonstruktoren bei Auslegung neuer Werkzeuge genutzt werden kann. Wenngleich sich durch eine bessere Auslegung konventioneller Temperiersysteme durchaus die Wärmeleistung der Druckgießform erhöhen lässt, so sind dieser Optimierung fertigungsbedingt dennoch Grenzen gesetzt.



Abbildung 3: Konventionelle Temperierung des vorhandenen Werkzeuges, hergestellt durch Langlochbohrungen



Abbildung 4: Unter Einsatz von Segmentierungen und Stickkühlungen modifizierte Temperiergeometrie

Um den Forderungen nach einer oberflächennahen und großflächigen Temperierung nachzukommen, wird im Rahmen des Forschungsvorhabens angestrebt, ein Druckgießwerkzeug zu segmentieren. Dabei wird die Rückseite des Formeinsatzes ausgearbeitet und ein Segment, dessen Kontur die Temperierkanäle enthält, eingesetzt. Das Fügen der Segmente erfolgt dabei in Abhängigkeit von konstruktiven Randbedingungen (Geometrie, Abmessungen, Belastung), beispielsweise kraftschlüssig oder stoffschlüssig (Hochtemperatlöten). Die Abbildung 2 soll anhand eines exemplarischen Beispiels die Vorgehensweise verdeutlichen.

Um die Möglichkeiten einer Segmentierung hinsichtlich der oben genannten Kriterien aufzuzeigen, wurde ein existierendes Werkzeug der Forschungsgießerei am ifs zunächst in einem virtuellen Modell segmentiert und die daraus resultierenden Eigenschaften mit der vorhandenen konventionellen Temperierung verglichen. Dazu wurde die Gießsimulationssoftware MAGMASOFT eingesetzt, die den Druckgießprozess weitestgehend realistisch abbildet.

In den Abbildungen 3 und 4 sind zur Veranschaulichung die konventionelle Temperiergeometrie sowie die Temperiergeometrie nach einer möglichen Segmentierung dargestellt. Im Rahmen dieser Studie wurden zunächst konstante Wärmeübergangskoeffizienten angenommen und vier unterschiedliche Parameter gegenüber der konventionellen Temperierung untersucht. So wurde zunächst die Temperatur des Temperiermediums bei einem kontinuierlichen bzw. diskontinuierlichen Betrieb des Temperiergerätes beibehalten (Vo_1 bzw. Vo_2 , $T_{\text{Medium}} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$). Anschließend wurde die Temperatur des Temperiermediums herabgesetzt auf $150 \text{ }^\circ\text{C}$, ebenfalls für den kontinuierlichen bzw. diskontinuierlichen Betrieb (Vo_3 bzw. Vo_4 , $T_{\text{Medium}} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$).

Durch eine temporäre Abschaltung des Temperiergerätes lässt sich eine beträchtliche Energieeinsparung erreichen, da in diesem Fall die für den Betrieb des Temperiergerätes erforderliche Pumpenleistung lediglich während der Hälfte des dargestellten Zyklus benötigt wird.

Anhand des Temperaturverlaufes an der Werkzeugoberfläche lässt sich die Wärmeleistung des Temperiersystems bewerten. In diesem Modell wurden ein Punkt an der Oberfläche des Werkzeuges ausgewählt und der Temperaturverlauf für die unterschiedlichen Varianten der Temperierung in einem Diagramm dargestellt (vgl. Abbildung 5). Es wird deutlich sichtbar, dass sich mit einer segmentierten Temperierung bereits bei gleicher Medientemperatur höhere Abkühlgeschwindigkeiten erreichen lassen, die in einer geringeren Starttemperatur vor Beginn des Sprühens resultiert. Gleichzeitig kann bei einem kontinuierlichen Betrieb des Temperiergerätes eine höhere Starttemperatur vor Beginn der Formfüllung erreicht werden. Aufgrund der temporären Abschaltung der Temperierung ist die Temperatur bei der Variante Vo_2 vor der Formfüllung geringer, jedoch mit einer vergleichsweise geringen Temperaturdifferenz von $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Mit einer abgesenkten Temperatur des Temperiermediums lassen sich noch höhere Abkühlgeschwindigkeiten erreichen, allerdings kann systembedingt nur eine niedrigere Starttemperatur vor Beginn der Formfüllung erreicht werden. Darüber hinaus muss noch eine ausreichend hohe Temperaturdifferenz vorhanden sein, um eine Benetzung der Formoberfläche mit dem Formtrennmittel zu gewährleisten.

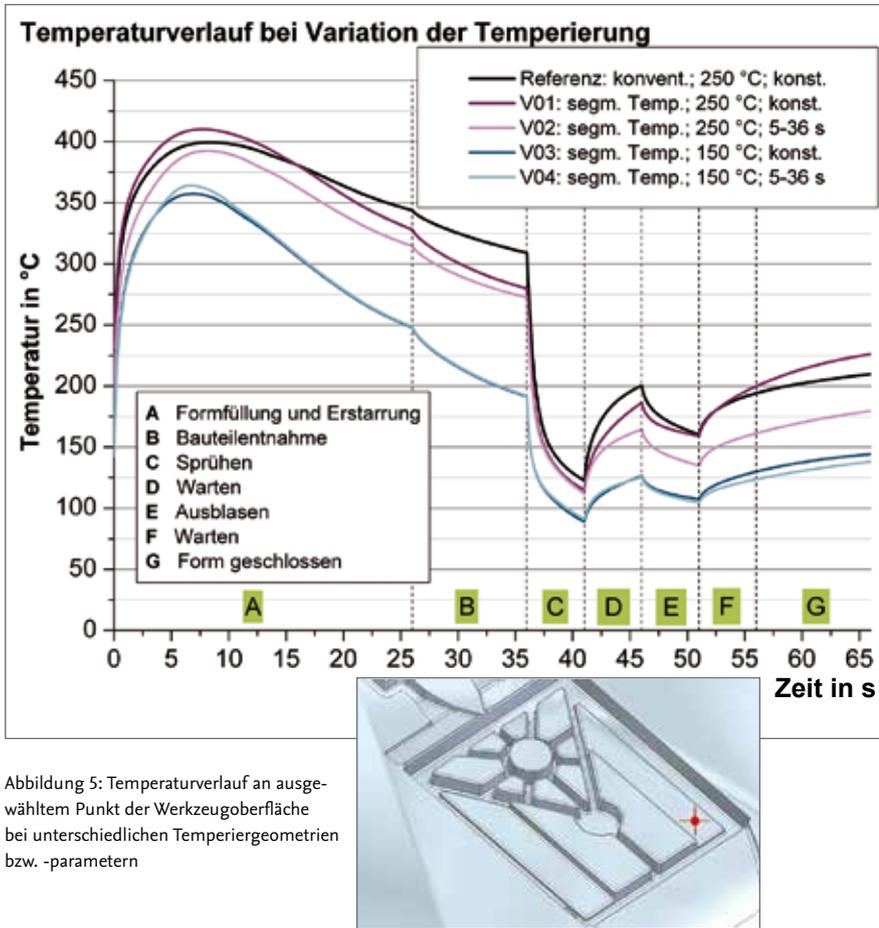


Abbildung 5: Temperaturverlauf an ausgewähltem Punkt der Werkzeugoberfläche bei unterschiedlichen Temperiergeometrien bzw. -parametern

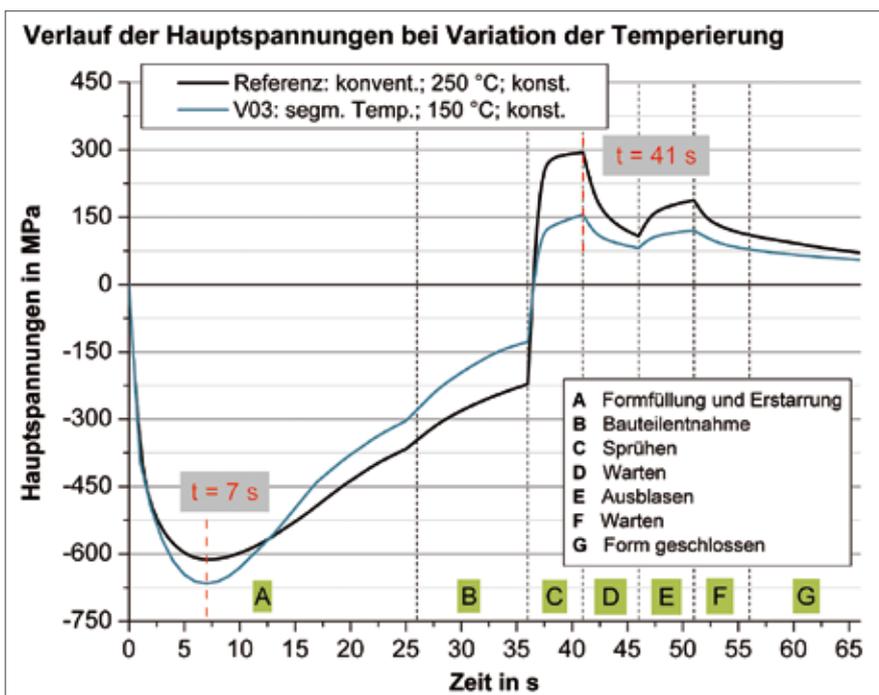


Abbildung 6: Verlauf der Hauptspannungen an ausgewähltem Punkt der Werkzeugoberfläche

Mit den gegebenen Möglichkeiten durch eine modifizierte, konturnahe Temperierung lassen sich somit die oben genannten Kriterien Zykluszeit und Qualität positiv beeinflussen. Abschließend soll der Einfluss einer modifizierten Temperierung auch auf das letzte Kriterium - die Standzeit der Druckgießform - gezeigt werden. Die Abbildung 6 zeigt dazu für die Referenztemperierung und die Variante V03 den zu dem Temperaturprofil korrespondierenden Verlauf der Hauptspannungen an der Formoberfläche. Maßgeblich für das Ermüden des Werkstoffes sind dabei vorrangig die Lastspitzen, in diesem Fall bei einer Zeit von 7 s und 41 s. Deutlich wird, dass bei einer geringeren Mediumtemperatur aufgrund der daraus resultierenden höheren Temperaturdifferenz von Formoberfläche und Schmelze das Maximum der Druckspannungen während der Formfüllung und Erstarrung größer ist. Gleichzeitig wird während des Sprühens eine signifikant geringere Zugspannung amplitude erreicht. Somit kann festgestellt werden, dass durch die Modifizierung der Temperierung sowohl die Größe der Spannungsamplitude als auch das Spannungsverhältnis beeinflusst werden können, welche beide einen Einfluss auf die Lebensdauer des Druckgießwerkzeuges haben.

Die Ergebnisse zeigen, dass durch eine optimierte Temperierung der Druckgießprozess wirtschaftlicher gestaltet und zugleich die Bauteilqualität positiv beeinflusst werden kann. Im weiteren Verlauf des Forschungsvorhabens ist es nun das Ziel, die vorab in Modellen dargestellten Eigenschaften modifizierter Temperierungen in ein reales Werkzeug zu überführen und zu verifizieren. Dazu soll demnächst ein Demonstrationswerkzeug an der Forschungsgießerei am ifs in Betrieb genommen werden.

Autoren:

Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Müller

Dr.-Ing. Helge Pries

Ansprechpartner:

sebastian.mueller@tu-braunschweig.de

Fortführung einer langen Tradition mit modernstem Stand der Technik:

Elektronenstrahlmaterialbearbeitung am Institut für Füge- und Schweißtechnik

Mit der Entwicklung erster Schweißmaschinen auf Basis des Elektronenstrahls (EB) zum Ende der fünfziger Jahre des letzten Jahrhunderts wurde eine neue Technologie geboren, deren Potenzial bis heute nicht ausgeschöpft ist und kontinuierlich erkundet wird: **Thermische Materialbearbeitung mittels Elektronenstrahltechnologie!**

Sowohl Professor Ruge als auch Professor Wohlfahrt erkannten frühzeitig das Potenzial der neuartigen Technologie und begannen, die Wechselwirkungen zwischen dem Elektronenstrahl und den Werkstoffen zu untersuchen. Dabei konnten sie mit ihren Mitarbeitern das Grundlagenwissen, z. B. im Bereich des Strahlschweißens von Stählen, wesentlich erweitern und eine entscheidende Basis für weiterführende Arbeiten legen. Mit der Ausrichtung des Institutes auf eine ganzheitliche werkstofftechnische Betrachtung von Prozessen wurde diese Anlage durch eine 1,5 m³ Kammer sowie einen neuen Strahlerzeuger modifiziert und in dieser Form bis 2010 verwendet, um wissenschaftliche und industrielle Aufgabenstellungen mit hohem Anspruch zu lösen. Ausgehend von fügetechnischen Aufgaben reichten diese über Randschichtmodifikationen bis hin zur Delamination von organischen Verbindungen.

In Fortsetzung dieser Tradition wurde im Sommer 2011 die modernste verfügbare Elektronenstrahltechnologie am Institut für Füge- und Schweißtechnik installiert. Diese neuen technologischen Möglichkeiten fanden umgehend Einzug in die Forschungsaktivitäten des ifs. Ausgehend von der aktuellen Anlagentechnik können auch in Zukunft Aufgabenstellungen in aller Breite der werkstofftechnischen Anwendungen bearbeitet und die technologische Vielfalt erweitert werden. Für Grundlagenforschung, zum Beispiel in den Bereichen Prozesstechnik, Metallurgie für die strahltechnische Fertigung ebenso wie für Entwicklungen von industriell einsetzbaren Lösungen, ist mit dieser Anlagentechnik die modernste mögliche Grundlage zur Bewältigung zukünftiger Aufgaben geschaffen.

Neuartige Möglichkeiten der inzwischen am ifs installierten EB-Technologie werden bereits fachgruppenübergreifend zur Bearbeitung von Forschungsvorhaben sowie zur Ausarbeitung neuer technologischer Ansätze verwendet.

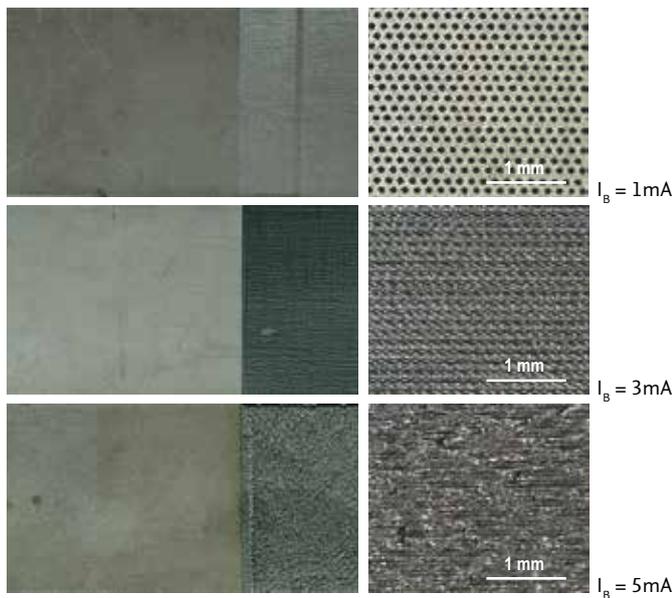


Neue EB-Anlage am ifs und eine Auswahl der Ausstattungsmerkmale

Ausstattung

- 150 kV; 15 kW; 2,6 m³- Vakuumkammer
- 5 mechanische Achsen
- Mehrprozessfähig
- Dyn. Linse (Fokuswobbeln)
- Strahlerzeuger horizontal o. vertikal
- Integrierte Temperaturerfassung
- Durchtrittstrommessung
- Durchstrahlungssensor
- Bauteilvisualisierung mittels EB
- Zusatzdrahtzuführung
- Scannen wie Schweißen
- Offline-Nahtkorrektur

Eine von jeher verwendete grundlegende Möglichkeit der Strahlsteuerung stellt die Ablenkung oder auch Oszillation des Elektronenstrahls dar. Dabei folgt der Elektronenstrahl einem vorgegebenen Muster und bildet dieses auf der Bauteiloberfläche ab. Mit den Neuentwicklungen der letzten Jahre besteht heute die Möglichkeit, nicht nur sogenannte Lissajous-Figuren zu generieren, die aus der Überlagerung von Schwingungen resultieren, sondern frei programmierbare Punktmuster auf die Bauteiloberfläche zu übertragen. Dabei kann neben dem Ort innerhalb eines abgegrenzten Feldes auch die Verweilzeit an diesem Ort frei programmiert werden. Diese neue Möglichkeit wird beispielsweise eingesetzt, um die Oberflächen von Bauteilen aus Titan zu modifizieren. Auf diese Weise soll eine alterungsbeständige Klebverbindung der Titan-Fügeteile erzielt werden.



Titan-Proben mit EB-Randschichtbehandlung im Überlappbereich als Vorbereitung zum Kleben

Gerade bei Werkstoffen mit einer hohen Affinität zu Sauerstoff, wie beispielsweise dem hier verwendeten Titan, stellt das Vakuum in der EB-Anlage die ideale inerte Atmosphäre für die Bauteilbearbeitung dar.

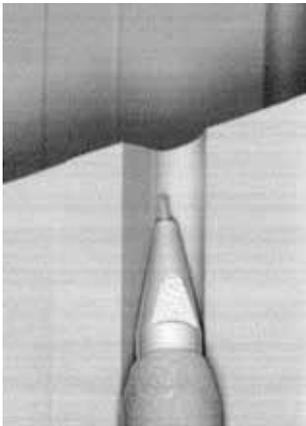
Das inzwischen abgeschlossene Forschungsvorhaben mit dem Kurztitel „FokuWob“ hatte die Verbesserung der Schweißseignung von hochwarmfesten Nickelbasiswerkstoffen zum Ziel. Dazu wurde keine flächige Variation des Leistungseintrages eingesetzt, sondern eine Leistungsdichtemodulation entlang der Strahlachse. Diese neuartige Möglichkeit einer Leistungsvariation wurde mittels einer dynamischen, hochfrequenten Fokuslagenänderung realisiert, dem sogenannten Fokuswobbeln.

Zielstellung des Projektes war es ebenfalls, mit dieser dynamischen Fokuslagenführung den Leistungseintrag in die betrachteten Bauteile entlang der Strahlachse gleichmäßig oszillierend zu gestalten, um das Erstarrungsverhalten somit vorteilhaft zu beeinflussen. Auf diese Weise wird die hohe Rissneigungsgefahr von Nickelbasislegierungen gesenkt. Eine Minderung der Rissneigung ist u. a. Voraussetzung für eine sichere schweißtechnische Fertigung von Bauteilen mit geminderten Wanddicken und somit eine Grundlage für die Ausschöpfung eines weiteren Leichtbaupotenzials.

Weitere Möglichkeiten, sowohl für Einrichtprozesse als auch für die Prozessführung, ergeben sich aus den Kombinationsmöglichkeiten verschiedener Anlagenoptionen. So wird zum Einrichten der nächsten Lage des Schweißens mit Zusatzdraht die Strahlablenkung eingesetzt, um ein Rückstreuelektronenbild, wie wir es auch aus einem Raster-Elektronen-Mikroskop kennen, zu erzeugen. So können Details ohne störende Lichtreflexionen oder Winkerverzerrungen unter Vakuum überprüft und ggf. korrigiert werden.

	Fokuslage während des Schweißens (Prinzip)	Querschliff der Naht	Längsschliff der Naht
Konstante Fokuslage			
Schwingende Fokuslage			

Prinzipskizze und Auswirkungen des Fokuslagenverlaufes beim EB-Schweißen (Blechdicke: 9 mm; Werkstoff: NiCr25FeAlY)



Positionierung Zusatzdraht
(Bildgebung auf Basis von Rückstreuелеktronen)
Quelle: pro-beam

Während des Schweißprozesses kann mittels Kombination von Ablenktechnik und Fokusalagenvariation dann auch der Prozess auf Grundlage von Rückstreuелеktronen verfolgt werden. Damit wird beispielsweise eine Beobachtung der Schmelzoberfläche ohne eine Überblendung anderer Details der Stoßumgebung möglich. Hilfreich sind diese Möglichkeiten u. a. bei Rapid-Prototyping-Prozeduren oder dem formgebenden Schweißen.

Hierzu wurden erste Versuche mit dem Ziel durchgeführt, verschlissene Druckgießformen zu rekonstruieren. Bei diesen Reparaturen sollen mittels der hoch flexiblen Möglichkeiten zur Leistungseinbringung des Elektronenstrahls die vergüteten Werkstoffe der Druckgießformen eine dem jeweiligen System angepasste Wärmeführung im Bereich von Grundwerkstoff und EB-Auftragschicht erfahren. Ziel ist dabei eine rissfreie Ausführung der Auftragschweißung mit angepassten Härtewerten zur Erreichung hoher Werkstückstandzeiten.

Die vorgestellten Einsatzbereiche zeigen, dass die heutigen Technologien des Elektronenstrahls ein weites Anwendungsspektrum bieten, um somit auch für moderne Werkstoffe und Prozesse zukunftsweisende Lösungen zu generieren. Die am ifs vorhandene moderne Elektronenstrahltechnologie bietet hierfür auch zukünftig eine hervorragende Basis für Grundlagenforschung und industrielle Entwicklungen.



Einstellprobe für Auftragschweißungen

Danksagung

Wir danken der Dobeneck-Technologie-Stiftung sowie der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Unterstützung zur Beschaffung dieser Elektronenstrahlanlage und Bereitstellung damit verbundener Möglichkeiten.

Ansprechpartner:

Dr.-Ing. Thomas Krüssel
t.kruessel@tu-braunschweig.de

Kleben im Stahlbau

Entwicklung eines Eurocode-basierten Bemessungskonzeptes für Klebverbindungen im Stahlbau

(IGF-Nr. 16494 BG)

Um im europäischen und internationalen Umfeld langfristig wettbewerbsfähig zu bleiben, ist es für den deutschen Stahlbau unbedingt erforderlich, mögliche Innovationen zur Steigerung der Produktivität und Effizienz, der Qualität und Langlebigkeit sowie der Realisierung architektonisch anspruchsvoller Gestaltungskonzepte wahrzunehmen. Die klassischen Fügeverfahren im Stahlbau, also das Schrauben als lösbares Verbindungsmittel und das Schweißen

zeug- und Flugzeugbau macht es bereits seit Jahrzehnten eindrucksvoll vor.

Zahlreiche Untersuchungen haben gezeigt, dass die Klebtechnik auch im Stahlleichtbau erfolgreich eingesetzt werden kann. Dies gilt sowohl bezüglich der Dauerhaftigkeit als auch für die Steigerung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit im Allgemeinen. Im Vorgängerprojekt mit dem Titel „Neue Konstruktionen durch Einsatz

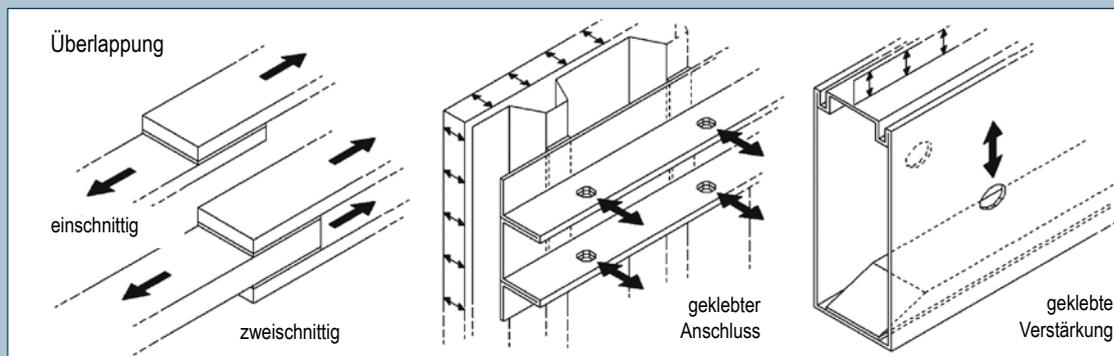


Abbildung 1: Gelebte Anwendungen im Stahlbau (Quelle: Dissertation J. Meinz, 2010)

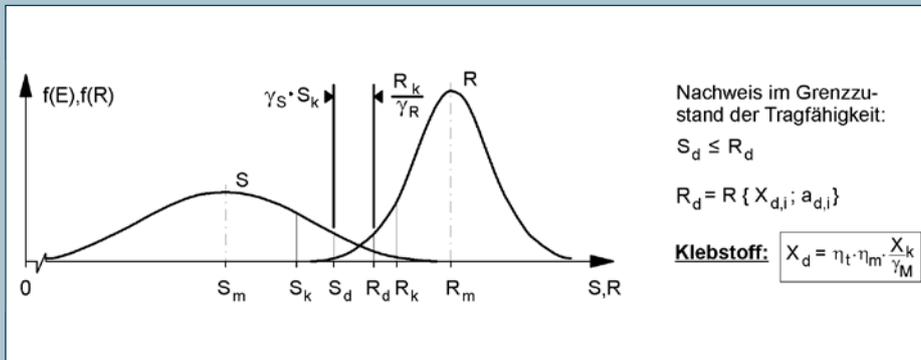
als nicht lösbare Verbindung, haben zwar im Laufe der Zeit immer wieder Weiterentwicklungen erfahren, jedoch bleiben grundsätzlich die Probleme und Einsatzbeschränkungen dieser Fügeverfahren bestehen. Die Anwendung der Klebtechnik kann hier Abhilfe schaffen. Es ist somit kontinuierlich daran zu arbeiten, das innovative Fügeverfahren „Kleben“ auch im Stahlbau als Standardfügeverfahren zu etablieren. Aufgrund des hohen Vorfertigungsgrades und der geringen Fertigungstoleranzen ist der Stahlleichtbau geradezu prädestiniert für die Anwendung der Klebtechnik. So lassen sich unter kontrollierten Werkstattbedingungen tragfähige und dauerhafte Klebverbindungen realisieren. Der Fahr-

von Klebverbindungen im Stahlbau“ [AiF 169] wurde anhand von drei ausgewählten Beispielen das große Potenzial der Klebtechnik im Stahlleichtbau demonstriert. Neben einer geklebten Leichtbau-Fahrbahnplatte wurden zwei unterschiedliche Klebanwendungen im Stahlfassadenbau (Abbildung 1) untersucht.

Aufgrund fehlender Normungen zum Nachweis von Klebverbindungen im Stahlbau sind die funktionsfähigen und praxistauglichen Anwendungen des Fügeverfahrens „Kleben“ bis zum heutigen Tag nicht ohne größeren Aufwand nachweisbar. Bei der Planung und Realisierung geklebter Konstruktionen läuft somit alles auf eine

„Zustimmung im Einzelfall“ oder eine „Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung“ hinaus, was aufgrund fehlender fachspezifischer Erfahrungen sehr aufwändig und kostenintensiv ist. Besonders kleine und mittlere Unternehmen entscheiden sich aus diesem Grund i. d. R. für andere weniger geeignete Fügeverfahren. Mögliche Aufträge, die aus ästhetischer Sicht oder wegen anderer Gründe nur durch den Einsatz der Klebtechnik realisierbar wären, werden unausführbar, was die Wettbewerbs- und Innovationsfähigkeit dieser Unternehmen deutlich beschränkt. Dabei besitzen viele potenzielle Klebanwendungen aufgrund der flächenhaften Ausbildung einer Klebverbindung so große Tragreserven, dass selbst bei sehr pessimistischer Annahme von Sicherheitsfaktoren die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit der Konstruktion ohne Probleme nachgewiesen werden könnte.

Aktuelle Nachweiskonzepte basieren auf dem Teilsicherheitsbeiwert-Konzept des Eurocode. Hierbei werden die Bemessungswerte der Auswirkungen aus Einwirkungen (S_d) dem Bemessungswert des zugehörigen Bauteil- oder Materialwiderstandes (R_d) gegenübergestellt (Abbildung 2). Die Teilsicherheitsbeiwerte sind dabei durch eine geeignete Kalibrierung des Bemessungsmodells zu ermitteln bzw. vereinfachend konservativ abzuschätzen.



← Abbildung 2: Teilsicherheitsbeiwert-Konzept und der Widerstand von Klebverbindungen

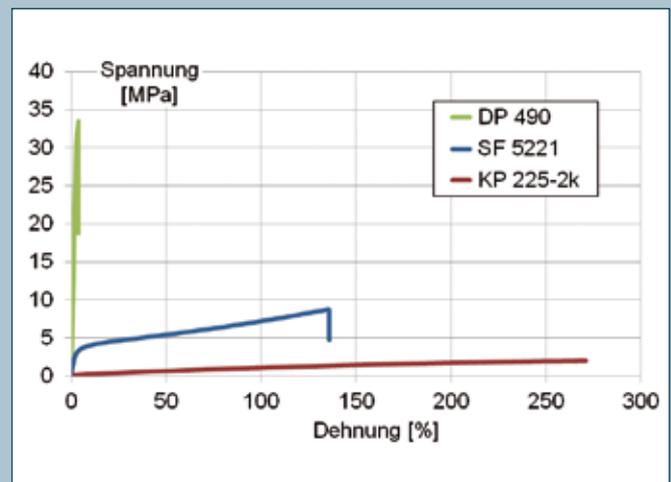
Abbildung 3: Spannungs-Dehnungsverhalten der untersuchten Klebstoffe im Zugversuch

Es gibt verschiedene Regelwerke mit Angaben zum Nachweis von speziellen Klebverbindungen. Diese Normungen unterscheiden sich durch die Grundlagen bei der Anwendung regelwerkspezifischer Nachweiskonzepte, wie z. B. die Ermittlung von Klebstoffparametern und Charakterisierung der Fügeflächen. Auch die Nachweiskonzepte an sich variieren vom veralteten Konzept zulässiger Spannungen bis zum etablierten Konzept mit Teilsicherheitsbeiwerten auf der Einwirkungs- und Widerstandsseite. Für Klebverbindungen im Allgemeinen und auch für Klebverbindungen speziell im Stahlleichtbau gibt es keine Regelungen zum Nachweis der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens sollen für Klebverbindungen im Stahlleichtbau wesentliche Grundlagen zur Beseitigung dieser unbefriedigenden Situation geschaffen werden.

Bei einer Berechnung nach Eurocode ist es üblich, zum Nachweis die Einwirkungs- und Widerstandsgrößen mit Teilsicherheiten zu

beaufschlagen und miteinander zu vergleichen. Während die repräsentativen Einwirkungen und Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungsseite bekannt sind, bestehen auf der Widerstandsseite bei Klebverbindungen keine oder nur unzureichende Kenntnisse bezüglich der charakteristischen Werte und Teilsicherheiten. Aus diesem Grund sollen im Rahmen des Projektes die dem Stand der Wissenschaft entsprechenden Methoden gemäß Eurocode angewandt und bewertet werden. Ergebnisse sind Teilsicherheitsbeiwerte für Klebungen, die einer „best practice“ entsprechen.

Aufgrund des großen Spektrums von Klebstoffeigenschaften ist das Bemessungskonzept in seinem Grundentwurf möglichst einfach und somit variabel zu halten. Es sollte jedoch auch die Möglichkeit bieten, sich weiter zu entwickeln, zu vervollständigen und bei Bedarf verfeinerte Betrachtungsweisen zuzulassen. Diese Forderung ist insofern wichtig, als dass im Rahmen des Forschungsprojektes eine Struktur vorgegeben wird, die aus Gründen der begrenzten Bearbeitungszeit nicht vollständig ausgefüllt werden kann. So erfolgen Klebstoffuntersuchungen lediglich an drei ausgewählten, vom Verformungsverhalten unterschiedlichen Klebstoffsystemen. Das Spannungs-Dehnungsverhalten der Klebstoffe ist in Abbildung 3 dargestellt.



↓

Eine Klebschicht ist im Allgemeinen unterschiedlichen Belastungen ausgesetzt und zeigt unter diesen verschiedene charakteristische Versagensarten. Das Verhalten einer Klebschicht unter Zug-, Schub- und Mischbeanspruchungen kann mit verschiedenen Kleinteilversuchen untersucht werden (vgl. Abbildung 4).

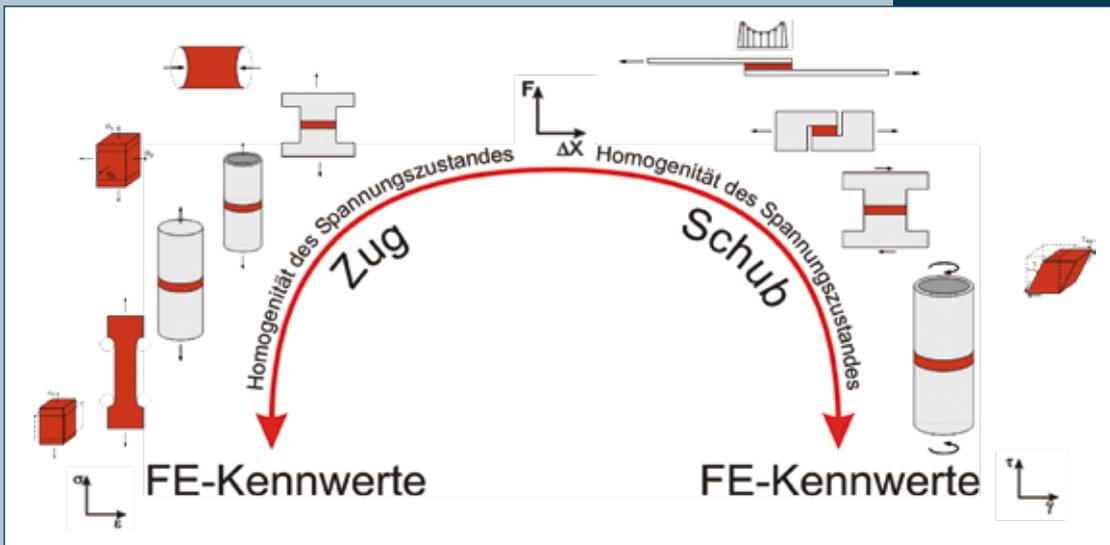


Abbildung 4: Prüfverfahren zur Kennwertermittlung von Klebverbindungen

Die experimentelle Ermittlung der Materialkennwerte, aus denen später die Widerstandskenngrößen für das Normkonzept abgeleitet werden, erfolgt am *ifs*. Primär sind statisch bzw. quasistatisch wirkende Belastungen Gegenstand der Betrachtung, was aufgrund der erforderlichen statistischen Aussagekraft der Untersuchungsergebnisse bereits eine große Versuchsmatrix bedingt.

Der Großteil der Kennwertermittlung erfolgt an der stumpf geklebten Kopfzugprobe (nach DIN EN 15870) und an der dicken Zugscherprobe (nach DIN EN 14869-2). Hier werden die Klebstoffe zunächst unter Normklima, anschließend bei verschiedenen Temperaturen im Gebrauchstemperaturbereich und schließlich nach definierten Alterungsbedingungen charakterisiert. Ergänzt werden die Untersuchungen durch Versuche unter Mischbeanspruchungen an der Arcan-Probe. Für die klimatischen Einflüsse sowie für Volumen- und Maßstabeffekte werden Umrechnungsfaktoren ermittelt, mit denen das Bemessungskonzept an einer bauteilähnlichen Probenform kalibriert und schließlich an einem Musterbauteil validiert wird.

Autoren:

Dipl.-Ing. Erdeniz Ince

Dr. rer. nat. Fabian Fischer

Ansprechpartner: e.ince@tu-braunschweig.de

Kooperationspartner:

Das IGF-Forschungsvorhaben (16494 BG) wird durch die Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. – FOSTA betreut und über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) gefördert. Die Forschungsarbeiten werden durchgeführt von:

- Brandenburgische Technische Universität Cottbus
Lehrstuhl für Stahl- und Holzbau – Ish
Prof. Dr.-Ing. habil. H. Pasternak
- Technische Universität Braunschweig
Institut für Füge- und Schweißtechnik – *ifs* – Prof. Dr.-Ing. Klaus Dilger

Demokratisierter Leichtbau

Ein neues Kapitel zum bezahlbaren Leichtbau ist aufgeschlagen

Vor ca. einem Jahr nahmen wir die Gelegenheit wahr, uns an dem Wettbewerb „ForschungsCampus – öffentliche-private Partnerschaft für Innovationen“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) zu beteiligen. Innerhalb kurzer Zeit wurde ein Konsortium etabliert, mit dem Ziel, den bezahlbaren Leichtbau in der automobilen Großserie zu realisieren. Voller Optimismus haben wir nach nur vier Monaten, am 15. Februar 2012, unsere Bewerbung „Open Hybrid LabFactory – Materialentwicklung und Produktionstechnik für den wirtschaftlichen und multifunktionalen Leichtbau“ beim Projektträger abgegeben. Dank der zahlreichen Commitments des Konsortiums aus über 30 Partnern aus Wirtschaft und Forschung konnte eine inhaltlich ausgewogene Bewerbung eingereicht werden. Am 28. Juni 2012 erhielten wir dann die erfreuliche Nachricht über die positive Vorauswahl und wurden eingeladen, die Open Hybrid LabFactory am 25. September 2012 in Berlin vorzustellen.

Die Sprecher des Konsortiums, Prof. Dr. J. Lehold von der Volkswagen AG und Prof. Dr. K. Dilger vom ifs, durften in Berlin präsentieren und sich den Fragen der Jurymitglieder stellen. Neben der Grundidee der Open Hybrid LabFactory – dem „demokratisierten Leichtbau“ – überzeugte die Jury insbesondere das Konsortium aus weltweit führenden Technologieunternehmen und der Spitzenforschung entlang einer vollständig abgebildeten Prozesskette. Einen Tag später, am 26. September 2012, wurden dann die Gewinner des Wettbewerbs auf einer Pressekonferenz von Frau Ministerin Prof. Dr. Schavan bekanntgegeben.

Aus bundesweit über 90 Bewerbungen aus nahezu allen Bereichen der Wissenschaft wurde die Open Hybrid LabFactory als eine von zehn Forschungsinitiativen ausgewählt. „Erst bei Bekanntgabe der Wettbewerbsgewinner ist uns richtig bewusst geworden, wie groß diese Sache ist: Gefördert wird etwa der Kampf gegen Krebs und Alzheimer, große Themen der Menschheit also – und wir!“ verlieh Prof. Dr. K. Dilger, sichtlich erfreut, seinen Gefühlen gegenüber den Journalisten nach der Pressekonferenz Ausdruck.

Viele haben Anteil am Erfolg der „Open Hybrid LabFactory“

Gedankt sei hier allen, die so enormes Engagement gezeigt haben. Namentlich den Verantwortlichen des NFF und der Volkswagen AG, den Vertretern der Institute IWF und IK der TU Braunschweig, des PUK der TU Clausthal, dem IFUM der LU Hannover, dem Institut FA des DLR, den Vertretern des CFK-Valley, dem Präsidium der TU Braunschweig und den Vertretern der Niedersächsischen Ministerien für Wissenschaft und Kultur sowie für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr ...und natürlich den Mitarbeitern des ifs.

Am 17. Oktober 2012, ein halbes Jahr nach dem ersten Treffen, haben wir dann die Partner zum zweiten Abstimmungstreffen nach Wolfsburg eingeladen. Erneut sind über sechzig Teilnehmer der Einladung gefolgt, und wir konnten gemeinsam mit den Mitgliedern des Konsortiums sowohl den Gewinn feiern als auch die weitere Vorgehensweise erörtern, wie z. B. den rechtlichen Rahmen und die Gebäude- und Fabrikplanung. Denn nicht zuletzt dank des auch bei dieser Gelegenheit gezeigten Engagements aller Beteiligten ist die Open Hybrid LabFactory erfolgreich aus dem Wettbewerb hervorgegangen.

Um nun diese einmalige Chance für den Forschungsstandort Braunschweig/Wolfsburg zu realisieren, ist eine Gesamtinvestition von 60 Mio. Euro sowohl seitens des Landes Niedersachsen als auch des Konsortiums zugesagt. Des Weiteren ist ein Projektvolumen von 60 Mio. Euro innerhalb der ersten fünf Jahre geplant. Die darin enthaltene Anschubfinanzierung für den ForschungsCampus durch das BMBF wurde aber erst durch die Zusage der industriellen Partner: BASF, DowAksa, EDAG, ENGEL Austria, FRIMO Group, MAGNA, SAERTEX, Salzgitter AG, Schnellecke Group, der Siempelkamp Gruppe sowie der Volkswagen AG möglich, die in ihren „Letter of Intent“ eine substantielle Beteiligung zugesagt haben. Die Open Hybrid LabFactory wird neben dem NFF einen weiteren Leuchtturm in der Fahrzeugforschung darstellen und die Rolle Niedersachsens als führendes „Autoland“ weiter unterstreichen.

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



Über 60 Teilnehmer sind der Einladung zum 2. Projekttreffen nach Wolfsburg gefolgt.



Gewinner des Granjon-Preises 2012

Category C: Design and Structural Integrity

Einen Preis zu gewinnen stellt in der akademischen Welt eine besondere Ehrung und einen besonderen Wert dar. Dies gilt heute mehr denn je. Der Preis ist eine persönliche Belohnung für die Mühen, die notwendig sind, um wissenschaftliche Arbeiten auf höchstem Niveau durchzuführen, zeigt aber auch die wissenschaftliche Exzellenz des Preisträgers sowie die seines Arbeitsumfeldes. So würdigt die Verleihung des Granjon-Preises 2012 an Dr. Majid Farajian seine hervorragende wissenschaftliche Leistung und stellt auf diese Weise schon eine besondere Ehre für unser Institut dar. Sie gibt aber auch einen Hinweis darauf, dass hier ein hervorragendes Arbeitsumfeld vorliegt, das die Durchführung der preiswürdigen Arbeiten möglich machte. Herr Dr. Farajian erhielt den Preis in Würdigung seiner Arbeiten zum Thema „Welding Residual Stress Behavior Under Mechanical Loading“. In diesen Arbeiten, die im Wesentlichen dem Inhalt seiner Doktorarbeit entsprechen, konnte Herr Dr. Farajian zu neuen Aussagen zum Auftreten und der Verteilung von Eigenspannungen in Schweißverbindungen treffen, zum anderen konnte er nachweisen, wie sich der Eigenspannungszustand bei der statischen bzw. zyklischen Belastung von Stählen mit Streckgrenzen von bis zu 1200 MPa verändert.

Wir gratulieren Herrn Dr. Farajian herzlich und sind stolz, ihn auch für die zukünftige Mitarbeit als Leiter der Abteilung „Simulation und Berechnung“ am *ifs* gewonnen zu haben.



Dr. Majid Farajian (links), Dr. Abdelkrim Chehaibou (rechts), Leiter der französischen Delegation, im Namen des „Institut de Soudure“ (französisches Schweiß-Institut).



Die Preisträger der 65. Jahrestagung des International Institute of Welding (IIW) vom 8. bis 13. Juli 2012, in Denver, Colorado - USA



Die IIW 2012 begrüßte 525 Delegierte und Experten aus allen Teilen der Welt. Die Teilnehmer genossen die großartige Gemeinschaft und besonders das weltweite Netzwerk zum Erfahrungsaustausch.

Der Preis wird zu Ehren des verstorbenen Henry Granjon verliehen, eines der Gründungsväter des International Institute of Welding (IIW). Seit 1992 werden jährlich Autoren gewürdigt, die sich auf internationaler Ebene mit Forschungsarbeiten zur Schweißtechnik oder verwandten Themen befassen. Damit soll hauptsächlich das Interesse junger Leute am Schweißen und ähnlichen Verfahren geweckt werden. Es gibt vier Hauptkategorien für die nominierten Arbeiten:

- Kategorie A: Fügen und Fertigungstechnologie
- Kategorie B: Materialverhalten und Schweißbarkeit
- Kategorie C: Design und Strukturintegrität
- Kategorie D: auf Menschen bezogene Themen

33. Assistentenseminar

Eine lange Tradition findet ihre Fortsetzung



Das diesjährige gemeinsame Assistentenseminar der Schweißtechnischen Institute der RWTH Aachen, TU Braunschweig, TU Chemnitz, TU Clausthal, TU Dresden und der Universität Magdeburg fand im September 2012 zum insgesamt 33. Mal statt. Eingeladen wurde von Professor Wesling (TU Clausthal) in das benachbarte Goslar im Harz. Die fachlichen Vorträge des schweißtechnischen Nachwuchses zeigten die große Bandbreite der Forschungsbereiche der beteiligten Institute. Sie befassten sich u. a. mit Lichtbogenverfahren, der Strahltechnik und den Auswirkungen des Schweißprozesses auf Werkstoffe. Neben den fachlichen Inhalten blieb Zeit zum gegenseitigen Kennenlernen bei einer Fahrt mit der Harzer Schmalspurbahn auf den Brocken mit anschließender Wanderung nach Schierke. Seitens des jfs aus Braunschweig haben neben Professor Klaus Dilger auch Michael Workowski, Jonas Hensel und Jakob Klassen teilgenommen.

Bogenschießen

Erfolgreiche Deutsche Hochschulmeisterschaft vom 25.-26.05.2012

Die diesjährige Ausschreibung der DHM erfolgte in Karlsruhe vergleichsweise kurzfristig, und es blieb wenig Vorbereitungszeit für die Braunschweiger Sportschützen. Dennoch konnten sie eine Vielzahl von Erfolgen verbuchen. In der Uniwertung belegte die Wettkampfgemeinschaft Braunschweig den zweiten Platz.

Der jfs-Mitarbeiter Marcus Weber belegte in der Einzelwertung Rookie-Luftpistole den ersten Platz. Er konnte ferner Erfolge in der „Bogen Compound“ Disziplin (Platz 2 nach BHVS-Wertung und Platz 3 nach ADH-Wertung) und in den Mannschaftswertungen verbuchen.

Platz 1 in der Klasse „Bogen Compound“ belegte Anja Baumgarten, welche ebenfalls für die WG Braunschweig startete (rechts neben Marcus Weber im Bild).

Nicht zuletzt wegen des dauerhaft hervorragenden Wetters und der guten Stimmung der Schützen kann dieses sportliche Event als ein voller Erfolg gewertet werden. Bereits jetzt freuen sich alle Beteiligten auf die nächste DHM, welche aller Voraussicht nach in Hannover stattfinden wird.



Neue Doktoren am *ifs*

Die letzte Stufe einer akademischen Ausbildung erreicht: Mark Hellmanns

Am 26.6.2012 hat Mark Hellmanns in Kassel am TFF (Fachgebiet für Trennende und Fügende Fertigungsverfahren der Universität Kassel) promoviert. Titel seiner Arbeit: „Qualitätssicherung von handgeführten Applikationsprozessen durch Nachverfolgung der Handhabungseinheit“. Den Vorsitz hatte Prof. Stefan Böhm, FB 15, der zugleich Prüfer mit Prof. Klaus Dilger vom *ifs* war. Die Herren Prof. Hans-Peter Heim und Prof. Andreas Kroll, beide FB 15 am TFF, vervollständigten die Prüfungskommission.



Nach erfolgreicher Ablegung seiner Disputation wurde Dr. Hellmanns von den beiden Hauptprüfern mit einem reichlich mit Bier bestückten Bollerwagen über den Kasseler Campus bis zum „Café Pavillon“ gezogen, auf dessen Terrasse er seine Promotionsrede hielt.

Aus der Schweiz angereist: Markus Urner



Die Referenten Univ.-Prof. Michael Rethmeier, BAM und Prof. Klaus Dilger, *ifs* sowie der Prüfungsvorsitzende Prof. Christoph Herrmann vom IWF freuen sich mit dem frisch Promovierten.

Für seine Dissertation „Vereinfachte Methodik für einen rationaleren Einsatz der numerischen Schweißsimulation“ wurde dem ehemaligen *ifs*-ler am 09.10.2012 der Dokortitel verliehen. Die anschließende Feier, zu der Dr. Urner mit italienischem Buffet einlud, bot Gelegenheit, die schönen Erinnerungen aus der Vergangenheit mit den Kollegen aufzufrischen.

Neu im Team



Dipl.-Ing.
Hippolyte Nkolo Elouna
hat sein Studium des

Maschinenbaus mit Schwerpunkt Konstruktion, Entwicklung und Betrieb an der Technischen Universität Clausthal absolviert. Seit September 2012 ist er am *ifs* in der Abteilung Festigkeit und Bauteilverhalten tätig. Sein Forschungsgebiet bezieht sich auf die Schwingfestigkeit und das Bauteilverhalten von Schweißkonstruktionen unter mehrachsiger Beanspruchung.



M.Sc. **Sergii Krasnorutskyi** hat nach seinem Maschinenbaustudium an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg als wissenschaftlicher Mitarbeiter

des Instituts für Werkstoff- und Füge-technik der TU Magdeburg ein gemeinsames Forschungsprojekt zum Elektronenstrahlschweißen von Duplexwerkstoffen bearbeitet. Seit Oktober 2012 ist er am *ifs* in der Abteilung Strahltechnik tätig. Sein Forschungsschwerpunkt ist die Entwicklung und Optimierung von Mehrbad- sowie Mehrprozess-technologien zur thermischen Materialbearbeitung mittels Elektronenstrahl.





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

Fax +49 (0) 531 391-5834

E-Mail: ifs-bs@tu-braunschweig.de

www.ifs.tu-braunschweig.de

IMPRESSUM

Herausgeber: Institut für Füge- und Schweißtechnik

Verantwortlich: K. Dilger

Redaktion: S. Müller

Grafik: B. Wolfrum

