

Multimaterial-Design im Fahrzeugbau – Potenziale und Herausforderungen für die Umform- und Fügetechnik

Drossel, W.-G.

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, Deutschland

1 Motivation

Politik, Wirtschaft und Wissenschaft werden in Zukunft immer stärker gefordert sein, trotz Ressourcenverknappung und Klimawandel das zunehmende Bedürfnis nach Mobilität der Menschheit zu befriedigen. Weitere Megatrends, die diese Entwicklungen forcieren werden, sind z. B. die demografische Entwicklung, d. h. das Durchschnittsalter der Bevölkerung steigt, die Verstädterung des Lebensraumes aber auch die Trennung von Leben und Arbeiten, das heißt von Wohn- und Arbeitsort. Diese Entwicklungen führten bereits in letzten Jahren zu einer grundlegenden Mobilitätsdiskussion.

Im Hinblick auf die Forderungen zur drastischen Reduzierung der Treibstoffverbräuche und der Emissionen stellt im Individualverkehr die Integration von elektrischen Antrieben, entweder als Hybridantrieb oder als reiner E-Antrieb, unbestritten eine der Zukunftsvision dar. Trotzdem muss eingeschätzt werden, dass sich insbesondere Elektrofahrzeuge bis heute am Markt noch nicht entscheidend behaupten konnten. Dafür gibt es vielfältige Ursachen. Einerseits können nach wie vor Handlungsbedarfe im Bereich der Energieerzeugung festgestellt werden, denn die Elektromobilität wird sich nur dann durchsetzen, wenn die erforderliche Energie aus regenerativen Quellen gewonnen werden kann. Andererseits stellt auch die immer noch begrenzte Leistungsfähigkeit, das heißt hier insbesondere die Reichweite der Fahrzeuge, eine Herausforderung dar, der sich die Automobilhersteller stellen müssen.

Aber auch in anderen Verkehrsbranchen wie dem Schienen-, Schiffs- oder Luftverkehr kann heute die Verbrauchs- bzw. Emissionsenkung als eine der Herausforderungen für die Zukunft angesehen werden, was natürlich auch auf

konventionelle Verbrennungsfahrzeuge im Bereich des Individualverkehrs uneingeschränkt zutrifft.

2 Mischbau – Potenziale und Herausforderungen

Neben dem Downsizing der Antriebe repräsentiert die Umsetzung von Leichtbaustrategien nach wie vor einen vielversprechenden Ansatz zur Lösung der oben beschriebenen Herausforderungen. Aufgrund des engen Zusammenhangs zwischen Fahrzeuggewicht und Kraftstoffverbrauch können dadurch signifikante Einspareffekte hinsichtlich des Verbrauchs und der CO₂-Emissionen erreicht werden.

Das Ziel von Leichtbaukonzepten ist es, das Eigengewicht einer Konstruktion zu minimieren, ohne dass dabei die Funktion, die Sicherheit oder deren Lebensdauer beeinträchtigt werden dürfen. Maßnahmen bzw. Konzepte mit denen man versucht, sich dieser Aufgabe zu stellen, sind z. B. der Stoff- oder der Formenleichtbau, das heißt die Reduzierung des Bauteilgewichtes basiert auf der Nutzung von Werkstoffen mit geringer Dichte und / oder hoher Festigkeit, oder der Werkstoff wird unter Berücksichtigung der Bauteilbelastung optimal angeordnet. Dies bedingt wiederum innovative Leichtbau-Bauweisen.

Der heutige Trend im Fahrzeugbau, was nicht nur die Herstellung von Personenkraftwagen einschließt, geht eindeutig in Richtung Mischbau. Das Ziel besteht dabei darin, die Eigenschaften unterschiedlicher Werkstoffsysteme und/oder Halbzeuge intelligent miteinander zu kombinieren, um möglichst große Effekte hinsichtlich der Reduzierung des Gewichtes zu erreichen. Weiterhin bietet der Mischbau das Potenzial, die funktionalen Eigenschaften positiv zu beeinflussen. Als Beispiel kann hier der Einsatz von Werkstoffsystemen genannt werden, die eine hohe Festigkeit mit einem hohen Formänderungsvermögen verbinden und sich somit für crash-relevante Bauteile anbieten.

Es muss festgestellt werden, dass die zum Einsatz kommenden Leichtbauwerkstoffe und -halbzeuge wie zum Beispiel höchstfeste Stahlwerkstoffe, hochfeste Aluminiumlegierungen, faserverstärkte Kunststoff-Systeme, Metallschaumverbunde oder strukturierte Feinbleche oftmals durch ein eingeschränktes Umformvermögen charakterisiert sind, oder es besteht insbesondere für die umformtechnische Verarbeitung der hoch- und höchstfesten Werkstoffe ein großer Kraftbedarf für die Formgebung. Daraus ergeben sich aus Sicht der Produktions- und hier insbesondere der Umformtechnik Herausforderungen, denen sich die Bauteilhersteller

stellen müssen, um einerseits den geforderten Qualitätsansprüchen genügen zu können und andererseits auch eine wirtschaftliche Bauteilherstellung zu gewährleisten.

3 Ausgewählte Beispiele

Das Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU stellt sich dieser Herausforderung. Vielversprechende Lösungsansätze sind dabei die Entwicklung innovativer Technologien und Fertigungseinrichtungen. Dadurch ist es möglich, eine wirtschaftliche Herstellung von Bauteilen zu gewährleisten, die ein geringes Gewicht sowie eine hohe Funktionalität aufweisen. Dabei ist hervorzuheben, dass jeweils ein ganzheitlicher Ansatz verfolgt wird. Das heißt, dass die erforderlichen Produktionssysteme und -mittel sowie die gesamte Prozesskette, sei es zur Herstellung des einzelnen Bauteiles oder der Baugruppe bzw. des Gesamtfahrzeuges, mit in die Betrachtungen einbezogen werden.

Die folgenden ausgewählten Fallbeispiele aus den Bereichen Massiv- und Blechumformung sowie aus dem Gebiet der Füge-technik sollen einen Einblick in die Forschungsarbeiten des Fraunhofer IWU in Bezug auf die Realisierung von Mischbaukonzepten geben, wobei der Forschungsfokus bei der Fertigung von Karosseriebauteilen bzw. -baugruppen liegt. Mit Hilfe der folgenden Ausführungen werden insbesondere die Potenziale der Ansätze dargestellt. Die zu berücksichtigenden prozess- werkzeug- und anlagentechnischen Voraussetzungen für deren Umsetzung werden ebenfalls diskutiert.

3.1 Massivumformung – Lösungsansätze für Powertrain- und Strukturkomponenten

Strukturbauteile aus umgeformten Schaum-Sandwiches

Schaum-Sandwich-Platten sind Multimaterial-Systeme, die aus ein- oder zweiseitig aufgetragenen Deckblechen und dem Schaumkern bestehen. Basierend auf der Auswahl der Werkstoffe und der Dicken für die Deckbleche sowie der gezielten Einstellung der Schauparameter (z. B. Werkstoff, Dichte, Porenverteilung) können die Eigenschaften des Gesamtverbundes in einem weiten Parameterfeld eingestellt werden [1, 2]. In Bild 1 ist exemplarisch eine derartige Sandwich-Platte dargestellt.

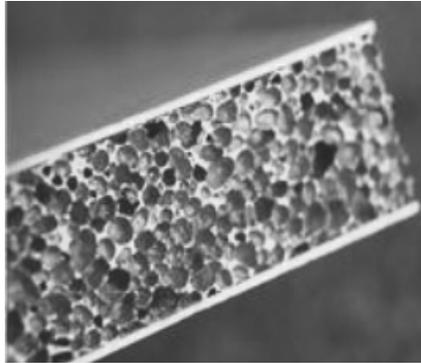


Bild 1: Schaum-Sandwich – Halbzeug mit Leichtbaupotenzial

Diese Strukturen bieten somit ein großes Spektrum an einstellbaren konstruktiven Eigenschaften. Mit der Herstellung von Bauteilen aus diesen Verbunden eröffnen sich völlig neue Ansätze zur Auslegung von Konstruktionsteilen mit einem hohen Potential zur Gewichtseinsparung.

Trotzdem muss eingeschätzt werden, dass die Anwendungen der Metallschaum-systeme vor allem im Bereich flächiger bzw. einfacher, dreidimensionaler Bauteile zu sehen sind, wobei weiterhin anzumerken ist, dass neben der Wirtschaftlichkeit das Anwendungspotenzial von Schaumstrukturen derzeit im Wesentlichen durch die Grenzen der Fertigungstechnologie beschränkt wird.

Die Herstellung von dreidimensionalen, komplex gestalteten Bauteilen unter Einsatz von Metallschäumen ist bisher wenig untersucht. Ein Ansatz besteht darin, dreidimensionale Bauteile bereits während des Schäumprozesses unter Verwendung von entsprechend gestalteten Schäumformen zu realisieren. Ein anderer Lösungsweg ist das Umformen von Schaum-Sandwich-Platten mit Hilfe geeigneter Umformverfahren. Dazu werden am Fraunhofer IWU Untersuchungen mit der Zielstellung durchgeführt, Formgebungs-Technologien für Verbunde, bestehend aus Metallschaum-Kern und entsprechenden Metalldecklagen, zu entwickeln.

Fragen, die dabei zu beantworten sind, betreffen zum Beispiel das Verhalten der Schaumstruktur und der Deckbleche bzw. des Gesamtverbundes während des Umformprozesses, die Definition von Versagenskriterien oder die Entwicklung von Richtlinien zur umformtechnischen Verarbeitung dieser innovativen Halbzeuge, was sowohl die Gestaltung des Prozesses als auch die der erforderlichen Werkzeuge einschließt. Bild 2 zeigt eine geschmiedete Verbundplatte bestehend aus einem Aluminium-Schaumkern sowie Aluminium-Deckblechen.



Bild 2: Geschmiedete Verbundplatte (Aluminium-Schaumkern/-Deckbleche)

Technologieentwicklung zur Herstellung von Verbundhalbzeugen

Während beim vorhergehenden Beispiel die Weiterverarbeitung von innovativen Werkstoffverbunden im Fokus der Untersuchungen stand, ist die Herstellung von Leichtbau-verbund-Halbzeugen Gegenstand von Forschungsarbeiten, die im Rahmen des Sonderforschungsbereiches SFB 692 „Hochfeste aluminiumbasierte Leichtbauwerkstoffe für Sicherheitsbauteile“ (HALS) durchgeführt werden [3, 4].

Das Ziel, das dabei verfolgt wird, ist die Erzeugung von Verbunden aus Magnesium- und Aluminiumlegierungen, um der relativ geringen Korrosionsbeständigkeit, die noch heute einer verstärkten Anwendung von Magnesiumlegierungen entgegensteht begegnen zu können. Der Lösungsansatz besteht darin, relative dicke, mit konventionellen Beschichtungsverfahren nicht realisierbare Ummantelungen aus Aluminium herzustellen. Diese sollen neben dem Korrosionsschutz gleichzeitig auch eine gegen äußere mechanische Einwirkungen resistente Schutzschicht erzeugen. Aufgrund ihrer Dimensionierung und dem damit vergleichsweise hohen Masseanteil muss diese Ummantelung außerdem einen Beitrag zur Aufnahme der Biege- und Torsionsbelastung im Materialverbund leisten. Dazu ist zwischen der Ummantelung und dem Kernwerkstoff ein stoffschlüssiger Materialverbund zu realisieren. Die besondere Herausforderung besteht darin, den Stoffverbund direkt während der Halbzeugherstellung zu erzeugen. Das bedeutet, dass die Festkörperdiffusion in einer kurzen Zeitspanne initiiert und ablaufen muss. Dem stehen sowohl die hohe Affinität zu Sauerstoff als auch die unterschiedlichen Gitterstrukturen der zu verbindenden Werkstoffe entgegen (z. B. AlMgSi1 und AZ31).

Basierend auf umfangreichen, systematischen Untersuchungen zum Fließpressen konnte der Nachweis der Festkörperdiffusion und der Realisierung des angestrebten Stoffverbundes erbracht werden (siehe Bild 3).

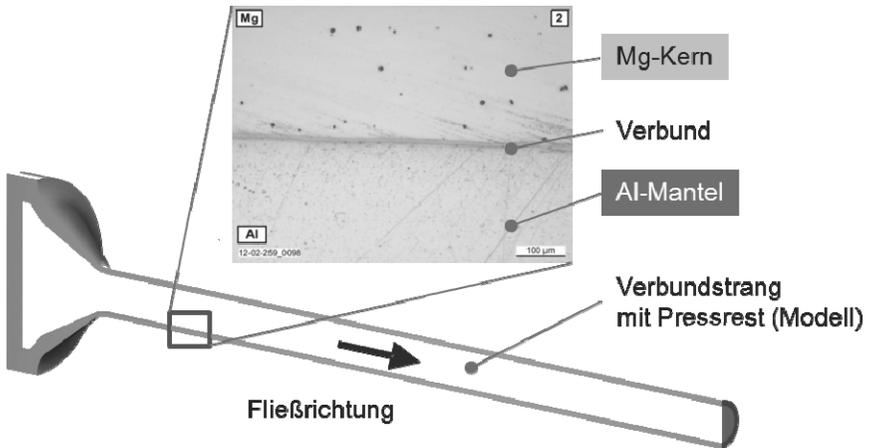


Bild 3: Durch indirektes Strangpressen hergestellter Aluminium-Magnesium-Verbund

Um eine für industrielle Anwendungen hinreichende Prozesssicherheit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu erlangen, bedarf es weiterer Entwicklungsarbeiten, die eine ganzheitliche Betrachtung der Prozesskette über das Strangpressen hinaus erfordern. Neben der dafür notwendigen Werkzeug- und Prozessoptimierung im Kernprozess bedarf es vor allem eine Abstimmung der Komponentenvorbehandlung sowie der Halbzeug-Nachbehandlung und -Weiterbearbeitung, so dass fehlerfreie Verbunde mit hochwertigen Eigenschaften gewährleistet werden können.

Gradierungspressen – hochgradig plastische Umformung mit Gradient

Ebenfalls im Rahmen des Sonderforschungsbereiches SFB 692 „Hochfeste aluminiumbasierte Leichtbauwerkstoffe für Sicherheitsbauteile“ (HALS) erfolgen Untersuchungen zu Umformverfahren für die Herstellung von gradierten Werkstoffsystemen. Ein Verfahren, das im Fokus der Untersuchungen steht, ist das Gradierungspressen. Dieses Verfahren zur umformtechnischen Werkstoffmodi-

fikation wurde entwickelt, um Bauteile belastungsgerecht gestalten und somit deren finalen mechanischen Eigenschaften verbessern zu können [5, 6].

Beim Gradierungspressen wird durch große plastische Dehnungen und Richtungswechsel eine sogenannte hochgradig plastische Umformung (Severe Plastic Deformation – SPD) realisiert, die die gezielte Einstellung der Eigenschaften durch Mikrostruktur-Modifikation des Werkstoffes erlaubt. Konventionelle SPD-Verfahren unterziehen, im Gegensatz zum Gradierungspressen, in der Regel das gesamte Werkstückvolumen einer hochgradig plastischen Umformung. Die erzeugte Kornfeinheit ist hierbei homogen über das Werkstück verteilt und die resultierenden physikalischen und mechanischen Eigenschaften sind ebenfalls weitgehend homogen.

Das Ziel der Forschungsarbeiten im Rahmen des SFB „Hals“ bestand in der Erzeugung einer definiert inhomogenen, hochgradig plastischen Umformung mit resultierender inhomogener Mikrostruktur und daraus folgenden Eigenschaften. Das Verfahren „Gradierungspressen“ erlaubt z. B. basierend auf einer geeigneten Werkzeug- und Prozessgestaltung die Fertigung gradierter stabförmiger Halbzeuge, mit Bereichen von normalkörnigen bis ultrafeinkörnigen Gefüge. Dies wird im Wesentlichen durch zusätzliche geometrische Elemente im Werkzeug, die nicht der Erzeugung der Endgeometrie des Bauteils dienen, erreicht. Mit dem Verfahren ist es somit möglich, ein ultrafeinkörniges Gefüge im Oberflächenbereich mit einer Dicke bis zu mehreren Millimetern zu erzeugen, das sich u. a. durch höhere Festigkeitswerte auszeichnet. Der innere Bauteilbereich mit normal- bzw. grobkörnigem Gefüge verfügt dagegen über eine gute Duktilität. Eine solche Eigenschaftsverteilung besitzt hohe praktische Relevanz für eine Vielzahl von Anwendungen (siehe Bild 4).

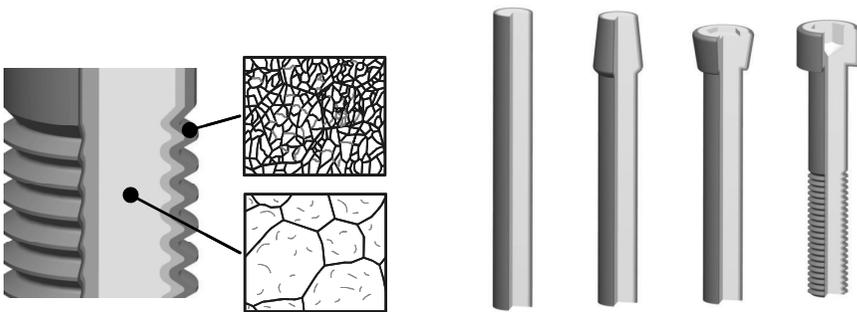


Bild 4: Anwendungsbeispiel „Schraube“, Prozesskette

3.2 Leichtbaulösungen für Karosseriekomponenten

Temperaturunterstütztes Innenhochdruck-Umformen mit gasförmigen Wirkmedien (T-IHU-G)

Im Hinblick auf das oft eingeschränkte Umformvermögen von Leichtbau-Werkstoffen insbesondere für Karosserieanwendungen ist es erforderlich, Strategien zu identifizieren, die eine Erweiterung der Umformgrenzen dieser Werkstoffe bewirken. Ein Ansatz ist dabei die Anwendung der Temperatur als Prozessparameter in Umformoperationen [7, 8]. Neben der positiven Beeinflussung des Umformverhaltens, was sich im Vergleich zu konventionellen Umformprozessen in größeren erreichbaren Dehnungen widerspiegelt, sind die Reduzierung der Umformkraft sowie die Verbesserung der Form- und Maßgenauigkeit als weitere Effekte zu nennen. Die Kombination mit einem wirkmedienbasierten Umformprozess, z. B. mit dem Innenhochdruck-Umformen, bietet das Potenzial, weitere Verbesserungen zu erreichen.

Im Rahmen eines von der SAB geförderten Gemeinschaftsprojekts mit der Salzgitter Hydroforming GmbH bestand das Ziel in der Erschließung industrieller Anwendungen für die Technologie des temperaturunterstützten Innenhochdruck-Umformens. Motivation für dieses Projekt war einerseits die bessere Ausschöpfung der Potenziale dieser Technologie zur Verkürzung von Prozessketten und somit zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit bei der Herstellung komplexer Bauteile. Andererseits sollte die Möglichkeit untersucht werden, ob mit Hilfe dieser Technologie eine mit dem Press- bzw. Formhärten vergleichbare Verfahrenskombination aus Umformen und Wärmebehandlung auch für sogenannte lufthärtende Stähle eingesetzt werden kann, um entsprechende Bauteilfestigkeiten zu realisieren. Deshalb wurden ein ferritischer Edelstahl (1.4509) sowie ein lufthärtender Stahl in die Untersuchungen einbezogen wurden.

Unter Berücksichtigung des Einsatzgebietes des Edelstahles 1.4509 für die Herstellung von Abgaskomponenten, wurde eine Demonstratorgeometrie definiert, die einem Serienteil der Salzgitter Hydroforming GmbH entspricht. Dieses wird derzeit in einem zweistufigen IHU-Prozess bei Raumtemperatur gefertigt, wobei nach der Vorformgebung und nach dem ersten IHU-Prozess jeweils ein Zwischenglühen erfolgt. Das wesentliche Ziel des Projektes bestand deshalb darin, die Prozesskette zu verkürzen, das heißt, das Bauteil in einem einstufigen Umformprozess herzustellen und die die Glühstufen zu substituieren.

Mit Hilfe des temperaturunterstützten, wirkmedienbasierten Umformprozesses, der bei $9 \approx 850 \text{ }^\circ\text{C}$ erfolgte, konnte die Zielstellung prinzipiell erreicht werden (siehe Bild 5). Anzumerken ist, dass es noch Handlungsbedarf hinsichtlich der Gewährleistung der geforderten Blechdickenverteilung gibt. In einem geplanten Nachfolgeprojekt sollen dafür Lösungsansätze entwickelt und umgesetzt werden.

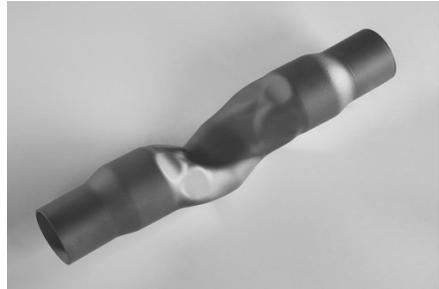
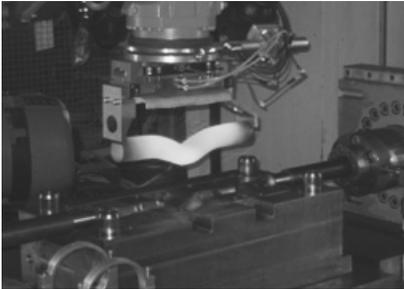


Bild 5: Realisierung des Demonstratorbauteils aus Edelstahl mittels T-IHU-G

Basierend auf durchgeführten Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen konnte weiterhin geschlussfolgert werden, dass sich die Technologie des temperaturunterstützten Innenhochdruck-Umformens mit gasförmigen Medien auch für den Großserieneinsatz anbietet.

Der große technologische Vorteil der lufthärtenden bzw. LH®-Stähle ist die Kombination aus guter Umformbarkeit und Härbarkeit. Sie können somit als Alternativen zu hoch- und höchstfesten Stahlwerkstoffen angesehen werden. Da mit Hilfe dieser Werkstoffe Bauteile mit signifikant höheren Festigkeiten realisiert werden können, ist es möglich, die Einsatzblechdicken deutlich zu verringern. Somit vereinen sie das Potenzial, sowohl Sicherheits- als auch Leichtbauanforderungen gerecht werden zu können. Bei der Anwendung des lufthärtenden Stahles LH®800 können nach der Wärmebehandlung und der natürlichen Abkühlung an Luft oder Schutzgas Festigkeiten von mindestens 800 N/mm^2 erreicht werden.

Der Ansatz, der während des Projektes verfolgt wurde, bestand darin, die Wärmebehandlung analog zum Presshärten bereits während des Umformprozesses durchzuführen. Aufgrund der Verfügbarkeit wurden Rohre aus MW700L für die Untersuchungen verwendet. Hierbei wurde eine Versuchsgeometrie definiert (siehe Bild 6), die die Bestimmung der Werkstoffkennwerte nach der Umformung basierend auf einachsigen Zugversuchen ermöglicht. Bild 7 zeigt den Temperatur-Zeit-Verlauf für die Versuche.

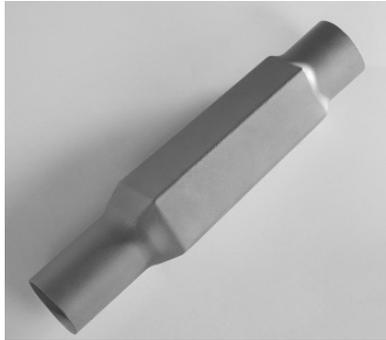


Bild 6: Versuchbauteil (MW700L)

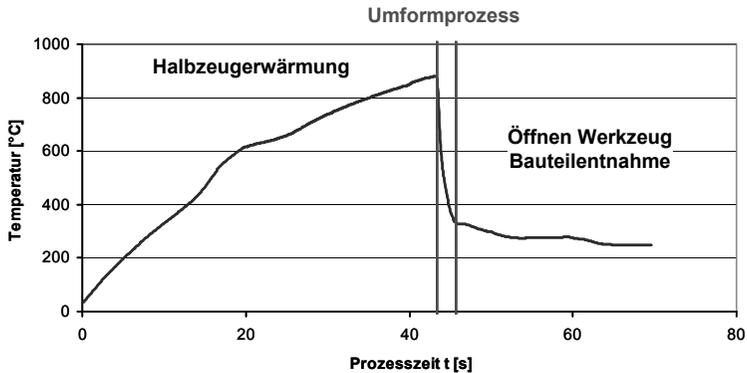


Bild 7: Temperatur-Zeit-Verlauf

Sowohl die Umformergebnisse als auch die werkstofftechnischen Untersuchungen ($R_{m \max} \approx 1200 \text{ N/mm}^2$) bestätigen die prinzipielle Machbarkeit dieser Herangehensweise. Die Kombination aus Umformung und Wärmebehandlung bietet sich somit für die Herstellung crashrelevanter Bauteile (z. B. Crashboxen) unter Verwendung von rohr- bzw. profilmförmigen Ausgangshalbezeugen an, wodurch einerseits eine Reduzierung der Bauteilmassen erreicht und andererseits Sicherheitsanforderungen erfüllt werden können.

Ermittlung des Reibungskoeffizienten bei der Blech-Warmumformung

Das Form- bzw. Presshärten repräsentiert eine State-of-the-Art-Technologie und wird heute insbesondere für die Realisierung höchstfester Strukturbauteile in der Karosseriefertigung eingesetzt.

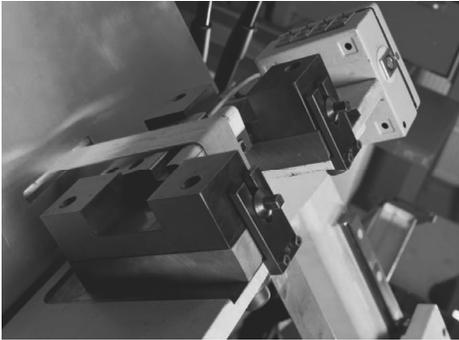
Die Ausbildung des tribologischen Systems zwischen Werkzeug- und Blechwerkstoff bestimmt maßgeblich auch das Ergebnis bei temperaturunterstützten Umformprozessen. Im Vergleich zur Kaltumformung wirken zusätzliche Verschleißmechanismen, die hohe Ansprüche an die Werkzeugoberfläche stellen. Kritische Aspekte sind dabei zum Beispiel

- Ermüdungserscheinungen, hervorgerufen durch thermische Wechselbeanspruchungen,
- Adhäsions- und Abrasionserscheinungen oder
- Diffusionsvorgänge an bzw. in der Werkzeugoberfläche.

Die Auswahl geeigneter Werkzeugwerkstoffe, -beschichtungen und ggf. geeigneter Schmierstoffsysteme kann zu einer Erhöhung der Prozesssicherheit sowie zu einer Reduzierung des Werkzeugverschleißes und somit zur Erhöhung der Werkzeugstandzeiten beitragen.

Für die Bewertung tribologischer Systeme, z. B. beim Form- bzw. Presshärten [9, 10], kommt am Fraunhofer IWU eine Streifenzieheinrichtung mit 90°-Umlenkung des Streifens zur Anwendung. Mit deren Hilfe ist es möglich, sowohl Werkzeugwerkstoffe als auch -beschichtungen hinsichtlich ihrer Einsetzeignung zu testen. Mit Hilfe des integrierten Ofens können die verwendeten Blechstreifen auf $\vartheta = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ erwärmt werden. Somit lässt sich der Austinitisierungsprozess beim Warmumformen von borlegierten Stählen nachbilden. Die Streifen werden dann mit entsprechender Flächenpressung über eine Ziehkante gezogen, die aus dem zu untersuchenden Werkstoff besteht und/oder mit der interessierenden Beschichtung versehen ist.

Beispielsweise wurde der Einfluss unterschiedlicher Hartstoffschichten, das heißt einer thermisch gespritzten WC-Co- 88/12- sowie einer mittels PVD aufgetragenen CrVN-Schicht, auf den Formhärtenprozess untersucht. Als Referenzprobe kam der Warmarbeitsstahl Böhler W360 isobloc zur Anwendung, der auch als Basiswerkstoff für die betrachteten Beschichtungen diente. Als Reibpartner wurden AlSi-beschichtete Blechstreifen aus 22MnB5 verwendet. Bild 8 veranschaulicht einen temperaturunterstützten Streifenziehversuch und fasst die Versuchsbedingungen zusammen.



Parameter	Wert
Ziehgeschwindigkeit:	50 mm/s
Ofentemperatur:	938 °C
Austenitisierungsdauer:	8 min
Werkzeugstarttemperatur:	20 °C
Blechbreite:	50 mm
Flächenpressung:	20 N/mm ²

Bild 8: Temperaturunterstützter Streifenziehversuch

Das Diagramm in Bild 9 zeigt die während der Versuche ermittelten Reibungskoeffizienten. Die Temperatur der Blechstreifen im Bereich der Ziehkante betrug dabei $\vartheta \approx 800$ °C. Schlussfolgernd lässt sich feststellen, dass Unterschiede im interessierenden Bereich hinsichtlich der Reibwerte sowohl bei der Verwendung der beschichteten Proben als auch der Referenzprobe sehr gering sind. Im Gegensatz dazu ließen sich aber durch Verwendung der mit Hilfe des PVD-Verfahrens aufgetragenen Schicht Aufschweißungen vermeiden.

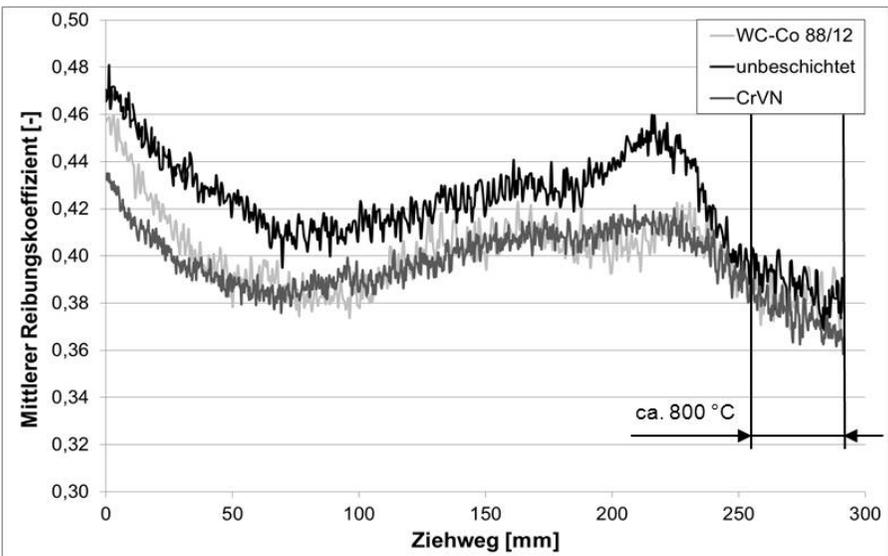


Bild 9: Entwicklung der Reibungskoeffizienten über dem Ziehweg

Magnesium als Karosseriewerkstoff

Die Anwendung von Magnesium-Legierungen für Karosserieanwendungen bietet, unter Berücksichtigung ihrer spezifischen Eigenschaften, ebenfalls ein großes Potenzial zur Reduzierung der Fahrzeugmassen. Leider sind diese Werkstoffsysteme durch ein sehr eingeschränktes Umformvermögen charakterisiert, das heißt, dass bei Raumtemperatur die Realisierung komplexer Bauteile nicht möglich ist.

Im Rahmen des regionalen Wachstumskernes „Technologieplattform zum Einsatz von Magnesium-Knetlegierungen für den Fahrzeugbau im Produktlebenszyklus“ (TEMAK) wurde ein Gesamtprozess zur Herstellung einer kompletten Magnesium-Tür konzipiert und umgesetzt. Aspekte wie das Herstellen der Magnesium-Halbzeuge als auch das Recycling wurden dabei ebenfalls in die Betrachtungen einbezogen. Ein weiteres Ziel bestand im Nachweis der Prozessfähigkeit.

Am Fraunhofer IWU wurden die Einzelkomponenten Außenteil, Innenteil und Türrahmen sowie der Zusammenbau realisiert. Für das Außen- und Innenteil kamen Tailored Welded Blanks aus AZ 31 bestehend aus Einzelplatinen unterschiedlicher Blechdicke zur Anwendung. Diese wurden mit Hilfe von Tief- bzw. Streckziehoperationen umgeformt. Aufgrund der Umformeigenschaften von Magnesiumlegierungen war dafür eine Temperaturunterstützung erforderlich.

Grundlegenden Umformversuche mit einer Modellgeometrie (Behälter) wurden durchgeführt, um geeignete Temperaturbereiche für die Umformprozesse zu identifizieren, und um das Umformverhalten geschweißter Platinen aus Magnesium zu untersuchen. Die Strategie, die dabei verfolgt wurde, beinhaltete die aktive Erwärmung des Niederhalters und der Matrize mittels elektrischer Heizpatronen. Der Prozess selbst wurde mit Hilfe von FE-Simulationen ausgelegt, und dann im Realversuch nachgebildet. Im Ergebnis konnten Gutteile hergestellt werden, so dass die ermittelten Prozessparameter auch die Basis für die Herstellung des Außen- und des Innenteils darstellten.

In Bild 10 ist ein realisiertes Tür-Außenteil dargestellt, wobei ersichtlich ist, dass die Schweißnaht in den Bereich der Zierleiste gelegt wurde. Für die Herstellung wurden, analog zu den Modellversuchen, der Niederhalter und die Matrize aktiv beheizt ($\vartheta = 240 \text{ }^\circ\text{C}$). Weiterhin war es erforderlich, einige geringfügige Änderungen insbesondere in Radienbereichen vorzunehmen, um die umformtechnische Herstellung des Bauteiles zu gewährleisten.

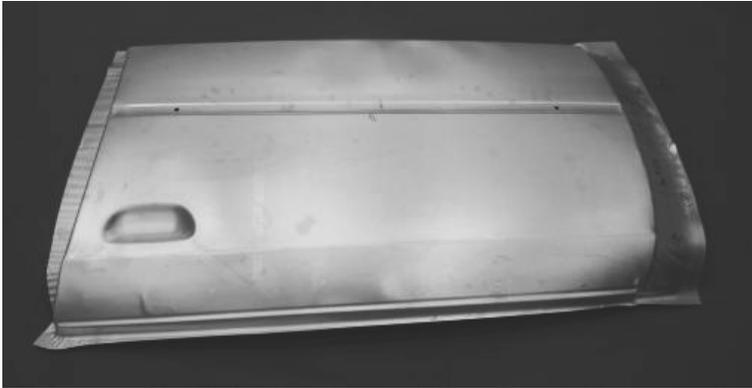
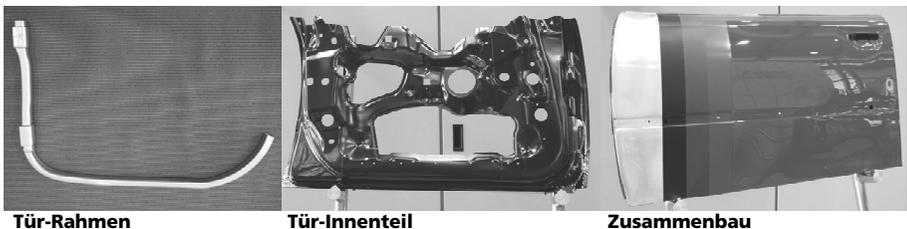


Bild 10: Tür-Außenteil aus Magnesium

Auch für das Innenteil kam eine geschweißte Platine aus AZ31 zur Anwendung, die aus Bereichen unterschiedlicher Blechdicken ($s_1 = 1,24 \text{ mm}$ $s_2 = 1,90 \text{ mm}$) bestand. Neben dem beheizbaren Umformwerkzeug wurde zusätzlich eine Vorerwärmung der Platine mit Hilfe einer induktiven Erwärmungseinrichtung realisiert.

Der Türrahmen wurde unter Verwendung von rohrförmigen Ausgangshalbzeugen hergestellt. Die Formgebung der finalen Rahmengeometrie erfolgte anschließend mit Hilfe eines temperaturunterstützten Freiform-Biegens. In einem temperaturunterstützten Gasumformprozess wurden die Scharnierverstärkungen mit dem Rahmen gefügt und die finale Bauteilgeometrie kalibriert.

Für den Aufbau der Gesamttür kam ein temperaturunterstützter Falzprozess zur Anwendung, wobei die Erwärmung der Falzleisten wiederum mit Hilfe induktiver Erwärmungseinrichtungen erfolgte. Bild 11 zeigt den Zusammenbau der Fahrzeugtür.



Tür-Rahmen

Tür-Innenteil

Zusammenbau

Bild 11: Realisierte Komponenten bzw. Gesamttür

3.3 Gestaltung von Mischverbindungen im automobilen Zusammenbau

Für die Umsetzung von Mischbau-Konzepten für automobiler Anwendungen wird heute die Füge-technik oftmals als sogenannter „bottle neck“ angesehen. Für Baugruppen, bei denen Werkstücke aus artungleichen Werkstoffen miteinander verbunden werden sollen, bieten sich häufig mechanische Fügeverfahren an, auch in Kombination mit dem Kleben. Bei der Gestaltung dieser Fügeverbindungen im Multimaterialdesign müssen die unterschiedlichen Anforderungen der zu verbindenden Werkstoffe und die sich aus der Verbindung ergebenden Anforderungen berücksichtigt werden. Folgende Aspekte sind aufeinander abzustimmen:

- Festigkeit und Duktilität der zu verbindenden Bauteilwerkstoffe
- Festigkeit und Duktilität der Fügeelemente
- Anforderung an die Verbindung (z. B. Festigkeit, Geometrie)
- Elektrochemisches Potential der Fügepartner, Korrosionsschutz
- Eigenschaften von Kleb- und Dichtstoffen
- Verhalten der Baugruppe bei Temperaturänderung in der Prozesskette und im Betrieb

Am Fraunhofer IWU werden hierzu die einzelnen Komponenten und Prozessschritte sowie das systematische Zusammenwirken der Einflussgrößen über die Prozesskette mit dem Ziel untersucht, bedarfsgerechte Füge-technologien zu gestalten. Ausgehend von den Eigenschaften der einzelnen Bauteile und deren Toleranzen sowie den Anforderungen an die Festigkeit der Verbindung werden die Füge-technologien ausgewählt und die Fügewerkzeuge entworfen. Die Gestaltung erfolgt auf der Basis von Know-how, Experimenten und numerischen Simulationen. Die Sensitivität einzelner Prozessparameter und die Robustheit der Prozesse werden mittels moderner statistischer Methoden bewertet. Ziel ist die Minimierung der Prozesskosten bei einer stabilen Produktqualität.

Häufig zwingen spezielle Anforderungen bei der Fügeprozessgestaltung in Multimaterial-Systemen, meist bedingt durch besondere Werkstoffeigenschaften, zur Entwicklung von neuen Prozessvarianten. Beispiele dafür sind das am Fraunhofer IWU entwickelte temperierte matrizenlose Clinchen für Aluminium-Magnesium-Verbindungen (Bild 12) sowie das Vollstanznieten bei hohen Geschwindigkeiten für höchstfeste Werkstoffe (Bild 13) [11, 12].

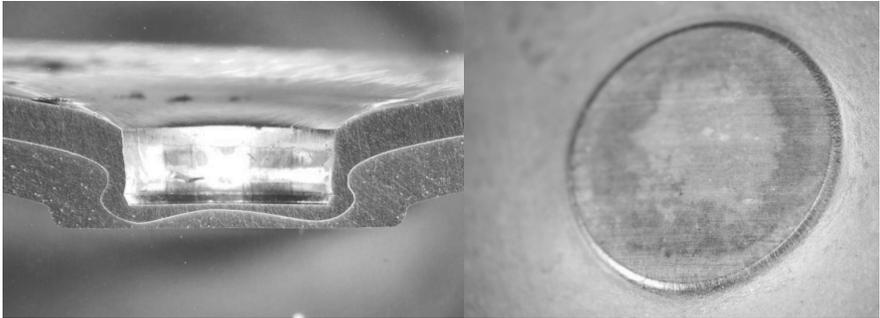


Bild 12: Temperaturunterstütztes matrizenloses Clinchen
(Stempelseite: AlMg3, $s_{01} = 1,0 \text{ mm}$; Ambosseite: AZ31, $s_{02} = 1,3 \text{ mm}$)

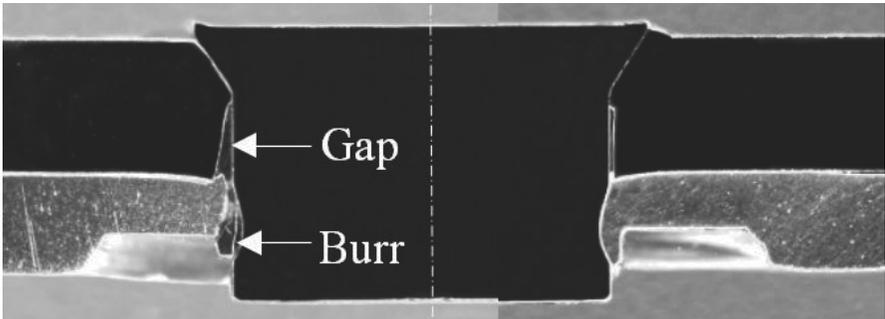


Bild 13: Konventionelles Vollstanznieten vs. Hochgeschwindigkeitsvollstanznieten (rechts)
(Stempelseite: 22MnB5, $s_{01} = 1,8 \text{ mm}$; Matrizenseite: AA6181, $s_{02} = 1,2 \text{ mm}$)

In verschiedenen Tests werden gemeinsam mit Partnerinstituten das Korrosionsverhalten der Baugruppen und das Potenzial von Beschichtungen auf Fügelementen sowie von Klebstoffen zum Schutz vor Korrosion untersucht.

Im Bild 14 sind exemplarisch für eine Mischbau-Bauweise eine Stanznietverbindung eines CFK-Bauteils mit einem Aluminiumblech sowie eine Falzklebverbindung an einer Testbaugruppe dargestellt. Wegen der unterschiedlichen thermischen Eigenschaften der einzelnen Werkstoffe kommt es während oder nach der Temperierung der Baugruppe, z. B. bei einer Klebstoffaushärtung oder im Farbgebungsprozess, zu Spannungen in der Fugestelle und zu Deformationen der Gesamtbaugruppe. Der Schwerpunkt weiterführender Untersuchungen besteht deshalb in der Entwicklung von Messmethoden und Berechnungsmethoden zur Ermittlung der Beanspruchung der Fugestellen im Fertigungsprozess und während der Belastung der Gesamtstruktur [13].

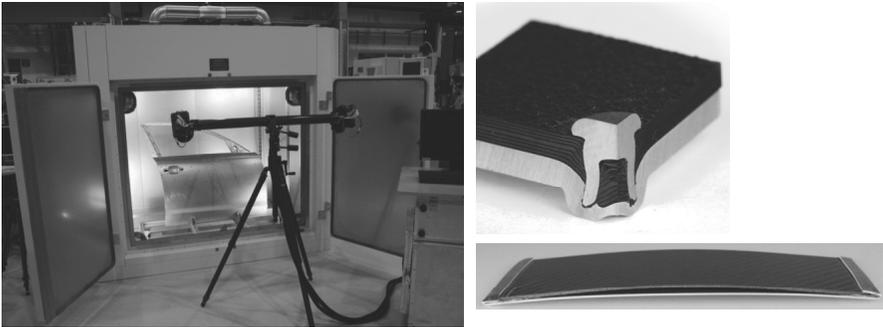


Bild 14: Baugruppen im Multimaterialdesign, Deformationsmessung im Ofenprozess

4 Zusammenfassung

Der Leicht- bzw. auch der Mischbau repräsentieren heute Schlüsselthemen im Zusammenhang mit den Anforderungen zur Reduzierung des Verbrauchs bzw. der CO₂-Emissionen. Die in den Ausführungen diskutierten Lösungsansätze können zur Erfüllung dieser Ziele beitragen.

Neben deren Potenzial hinsichtlich der Herstellung moderner Leichtbau-Halbzeuge sowie der Realisierung innovativer Leichtbau-Bauweisen muss sich die Umformtechnik Herausforderungen stellen, um auch den zukünftigen Entwicklungen im Fahrzeugbau gerecht werden zu können. Die Gewährleistung sicherer, robuster Prozessketten sowie eines „bezahlbaren“ Leichtbaus, basierend auf effizienten Umformtechnologien und -anlagen, sind dabei wichtige Aspekte. Gleiches trifft auch für die Fügtechnik zu. So repräsentieren insbesondere mechanische Fügeprozesse Schlüsseltechnologien für die Umsetzung von Mischbaukonzepten im Fahrzeugbau. Die Gewährleistung der Serienfähigkeit sowie die Integration in die Fertigungsabläufe sind hierbei als wichtige Randbedingungen zu nennen.

Die diskutierten Fallbeispiele zeigen, dass es vielfältige Möglichkeiten gibt, zur Reduzierung der Bauteilgewichte im Fahrzeug beizutragen. Um dabei aber auch die Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten, ist eine ganzheitliche Prozesskettenbetrachtung erforderlich.

Literaturangaben

- [1] Hipke, T.: *Analyse, Bewertung und Eignung von Aluminiumschäumen für die Werkzeugmaschinenkonstruktion, Berichte aus dem IWU – Bd. 15; Dissertation; Verlag Wiss. Scripten, Zwickau, 2002.*
- [2] Hipke, T.; Lange, G.; Poss, R.: *Taschenbuch für Aluminiumschäume. 1. Auflage, Aluminium-Verlag, Düsseldorf, 2007.*
- [3] Neugebauer, R.; Porstmann, S.; Glaß, R.; Zachäus, R.: *Einfluss der Prozessparameter auf das Umformergebnis beim indirekten Strangpressen von Aluminium-Magnesium-Verbundhalbzeugen. Materialwissenschaften u. Werkstofftechnik, 43, No. 7, Wiley-Vch GmbH & Co. KGaA, Weinheim 2012.*
- [4] Neugebauer, R.; Glaß, R.; Porstmann, S.; Kittner, K.: *Indirect Extrusion of Semi-Finished Aluminum-Magnesium Compounds. Materials Science and Engineering Technology, 2011, 42, No. 7, 585*
- [5] Neugebauer, R.; Sterzing, A.; Zachäus, R.; Bergmann, M.: *Gradation extrusion – Severe plastic deformation with defined gradient. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. 43 (2012), 7, S. 582-588.*
- [6] Neugebauer, R.; Bergmann, M.: *Local Severe Plastic Deformation by Modified Impact Extrusion Process. Steel research international. special issue metal forming, 2012, S. 471-474.*
- [7] Neugebauer, R.; Altan, T.; Geiger, M.; Sterzing, A.: *Sheet Metal Forming at Elevated Temperatures. CIRP annals, volume 55, issue 2, p.793-816 (2006).*
- [8] Neugebauer, R.; Bouzakis, K.-D.; Denkena, B.; Klocke, F.; Sterzing, A.; Tekkaya, A. E.; Wertheim, R.: *Velocity effects in metal forming and machining processes. CIRP annals, volume 60, issue 2, p. 603-844 (2011).*
- [9] Müller, R.; Jesche, F.; Lachmann, L.: *Ermittlung von Reibwerten und Verschleißverhalten bei hohen Temperaturen im Streifenzugversuch. Tagung Werkstoffprüfung 2007 „Konstruktion, Qualitätssicherung und Schadensanalyse“, ISBN 978-3-514-00753-6, Neu-Ulm, 29./30.11.2007, S. 317-322.*
- [10] Mosel, A.; Grund, T.: *Werkzeugbeschichtungen für das Presshärten – Einsatzpotenzial thermisch gespritzter Beschichtungen für das Presshärten mit Tailored Tempering Technologie. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb – ZWF, Ausgabe 09, Carl Hanser Verlag, München, 2012*

- [11] Neugebauer, R.; Dietrich, S.; Kraus, C.: *Advances in mechanical joining of magnesium. CIRP annals, volume 57, issue 1, p. 283-286 (2008).*
- [12] Neugebauer, R.; Jesche, F.; Kraus, Ch.; Hensel, S.: *Mechanical joining with self piercing solid-rivets at elevated tool velocities. In: Queens University : ESAFORM (2011) : 27-29 April 2011, Belfast. 2011, S. 1278-1283.*
- [13] Neugebauer, R.; Rössinger, M.; Schulz, F.; Eckert, A.; Schützle, W.: *Predicting Dimensional Accuracy of Mechanically Joined Car. Body Assemblies, SheMet Conference Leuven, 2011.*

