

VERZINKTE INSERTS FÜR STOFFSCHLÜSSIGE WERKSTOFF- VERBUNDE IM LEICHTMETALLGUSS

Verzinkte Inserts aus Eisen und Stahl erlauben einen deutlich vereinfachten Stoffschluss in hybriden Aluminiumgussstrukturen, wie sie insbesondere in Bauteilen für gute Wärmeleitfähigkeit benötigt werden.

AUTOR:

Dr. Peter Liepert, DI Christa Zengerer, DI Gerhard Schindelbacher, Österreichisches Gießerei-Institut
Univ. Prof. Dr. Peter Schumacher, Lehrstuhl für Gießereikunde, Montanuniversität Leoben

Durch Kombination von Leichtmetallkomponenten mit Komponenten aus Eisenwerkstoffen lassen sich hybride Bauteile fertigen, die an weniger belasteten Stellen den Gewichtsvorteil des Leichtmetalls, und an höher belasteten Stellen die Festigkeitseigenschaften des Eisenwerkstoffes aufweisen. Dem entgegen steht jedoch der fertigungstechnische Aufwand eines notwendigen Fügenschrittes zur Verbindung der Materialpartner zum Hybridbauteil.

Eine systematische Untersuchung solcher Hybridverbindungen wird am Österreichischen Gießerei-Institut (ÖGI) im Rahmen des vierjährigen Forschungsprojektes mit dem Arbeitstitel „Multimaterialverbunde“ durchgeführt und erfolgt in Zusammenarbeit mit den Mitgliedsbetrieben des Fachverbandes Metalltechnische Industrie (FMTI) und mit finanzieller Unterstützung aus den Mitteln der Programmschiene „Basisprogramme“ der Forschungsförderungsgesellschaft (FFG).

Im Hybridguss wird der generative Fertigungsschritt des Bauteils mit dem Fügenschritt kombiniert, was insbesondere bei Großserien sehr wirtschaftlich durchgeführt werden kann. Auch die Freiheiten der Formgebung sind im Gießprozess sehr groß, je nach Prozessführung können die Werkstoffe dabei form- oder stoffschlüssig verbunden werden.

Da bei der Herstellung eines Stoffschlusses mit Interdiffusion zwischen den Fügepartnern ein Materialkontinuum ohne innere Grenzflächen und ohne Spaltbildung entsteht, sind diese Verbindungen im Vergleich zu rein formschlüssigen Verbunden gleicher Materialpaarung im Regelfall höher belastbar und haltbarer.

DER KLASSISCHE WEG: EISEN-ALUMINIUM-GUSSHYBRIDE MITTELS ALFINIERUNG

Will man Eisenwerkstoffe mit Aluminium stoffschlüssig verbinden, so erfolgt dies klassischerweise über einen Alfinierungsschritt. Hierfür wird die Eisenkomponente so lange in die Aluminiumschmelze getaucht, bis durch die Erwärmung des Bauteils oberflächlich eine Interdiffusion der Metalle und der Aufbau der Eisen-Aluminium-Übergangsschicht erfolgt ist. Die Eisenkomponente wird aus der Schmelze entnommen, muss aber nun noch heiß in die Form für den Hybridguss eingesetzt und sofort mit der Aluminiumkomponente umgossen werden. Da Eisen-Aluminium-Phasen der Alfinierungsschicht per se keine sehr guten mechanischen Eigenschaften aufweisen, wird stets versucht, diesen Bereich im Stoffschluss so dünn wie technisch notwendig zu halten.

Der Aufbau der sich ausbildenden Alfinierungsschicht ist hierbei von der eingesetzten Aluminiumlegierung und den Tauchbedingungen wie beispielsweise Temperatur und Verweildauer abhängig, aber in großem Maße auch vom Eisenwerkstoff selbst.

In den am ÖGI durchgeführten Abgüssen wurden zu Versuchszwecken Vollstäbe mit 28 mm Durchmesser und 24 cm Länge aus den Werkstoffen Gusseisen GJS-400, Kohlenstoffstahl St-52 und hochlegiertem Stahl 1.4571 als Einlegeteile verwendet. Zur Alfinierung wurden diese für sieben Minuten bei 740°C in eine Schmelze der Aluminiumlegierung AlSi9Mg getaucht. Die solcherart alfinierten Inserts wurden sofort in die Gussform eingesetzt und binnen Sekunden mit der Schmelze umgossen, um eine Materialanbindung der Aluminiumschmelze zu gewährleisten.

Die elementchemische Zusammensetzung in einer auf diese Weise erzeugten Alfinschicht zwischen Stahl 1.4571 und der Aluminiumlegierung AlSi9Mg ist für diese Materialpaarung exemplarisch in **Bild 1** dargestellt. Ein hochlegierter Austenit wurde als Eisenwerkstoff gewählt, um die Verteilung der Legierungselemente in der Alfinschicht und deren Einfluss auf den Prozess darstellen zu können.

Erfolgt das Umgießen dieser alfinierten Eisen- oder Stahlinserts jedoch nicht umgehend, entsteht beim Erkalten auf der anhaftenden Alfinschicht und der darüberliegenden Aluminiumbenetzung eine dichte Alu-

miniumoxidhaut. Diese bildet bei späterem Umgießen mit Aluminium eine nicht mehr an- oder auflösbare Barriere und verhindert dadurch die Interdiffusion und folglich auch den Stoffschluss zwischen dem Insert mit Alfinschicht und dem umgebenden Aluminium.

Somit können bei der Fertigung stoffschlüssiger Eisen-Aluminium-Hybride die alfinierten Einlegeteile nicht gelagert werden, sondern müssen schnell und noch heiß manipuliert und im sofort anschließenden Guss weiterverarbeitet werden. Dadurch wird der Gießprozess deutlich verkompliziert.

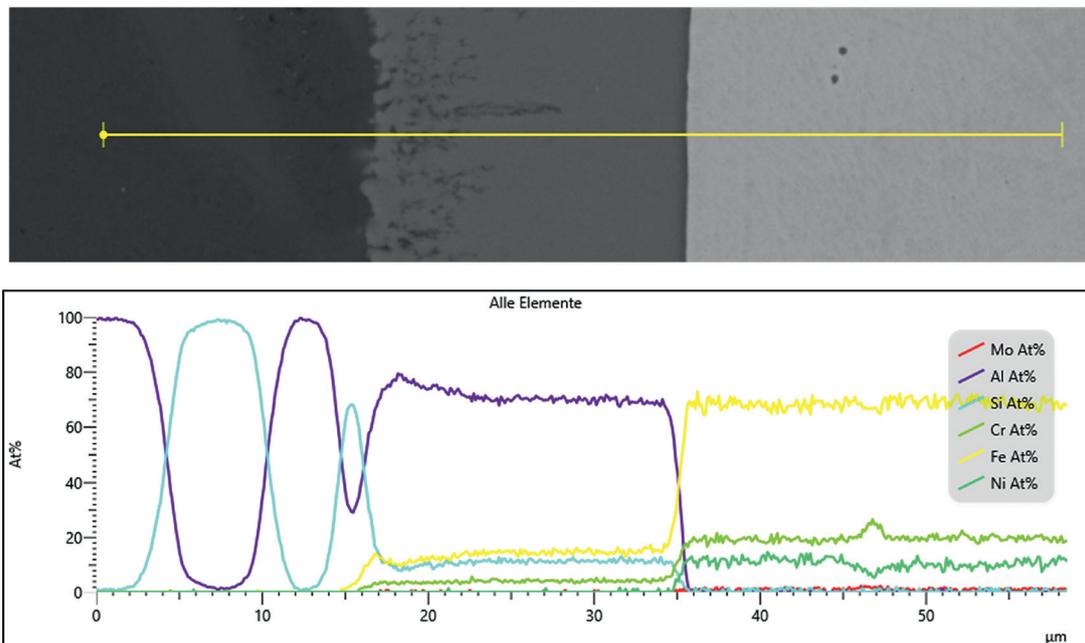


Bild 1: Querschliff durch die Alfinschicht zwischen Stahl 1.4571 und der Aluminiumlegierung AlSi9Mg nach Sandguss bei 740°C. REM-Bild (oben) und EDX-Linescan mit der Elementinformation für alle detektierten Elemente (unten).

STOFFSCHLÜSSIGE EISEN-ALUMINIUM-GUSSHYBRIDE MITTELS VERZINKTER BAUTEILE

Eine Alternative zu dieser klassischen Alfinierung stellt der Einsatz verzinkter Komponenten im Hybridguss dar. Der Einsatz verzinkter Inserts ist dabei nicht auf Bauteile aus Eisenwerkstoff beschränkt. So werden beispielsweise an der Universität Hannover verzinkte Kupfereinlegeteile im Aluminium-Druckguss eingesetzt, um stoffschlüssige Hybridbauteile herzustellen. Diese sollen als Kühlelemente für Notebooks und LED-Lampen Verwendung finden, da der entstehende Hybridguss die Wärme besser leiten kann als gelötete Bauteilgruppen¹.

Für die am ÖGI durchgeführten Gießversuche mit verzinkten Bauteilen aus Eisenwerkstoffen wurden ebenfalls wieder Vollstäbe aus Gusseisen GJS-400, Kohlenstoffstahl St-52 und hochlegiertem Stahl 1.4571 mit 24 cm Länge und 28 mm Durchmesser gewählt. Die Feuerverzinkung der Bauteile wurde dankenswerterweise durch Georg Fischer Fittings GmbH, Traisen durchgeführt, wobei

die Schichtstärke der Verzinkung auf den Bauteilen zwischen 100 und 150 µm lag.

Der Vorteil des Einsatzes von verzinkten Komponenten im Hybridguss besteht darin, dass diese Inserts vor dem Gießen beliebig lange trocken gelagert und kalt im Gießprozess verwendet werden können, da die bei deutlich tieferen Temperaturen schmelzende Zinkschicht auch bei kaltem Insert beim Abguss problemlos von der deutlich heißeren Aluminiumschmelze abgetragen und im flüssigen Aluminium aufgelöst wird. Je nach Temperaturführung des Gießprozesses der Wärmekapazität des Inserts kommt es hierbei entweder zu einer vollständigen Auflösung der Zinkschicht in der Aluminiumschmelze mit kompletter Umbenetzung und dem Entstehen eines reinen Eisen-Aluminium-Stoffschlusses oder zur Ausbildung einer noch immer zinkhaltigen Eisen-Aluminium-Grenzschicht im stoffschlüssigen Verbund.

Dass dies unter anderem sogar bei Einlegeteilen aus hochlegiertem Stahl möglich ist, zeigen die im folgenden angeführten Ergebnisse.

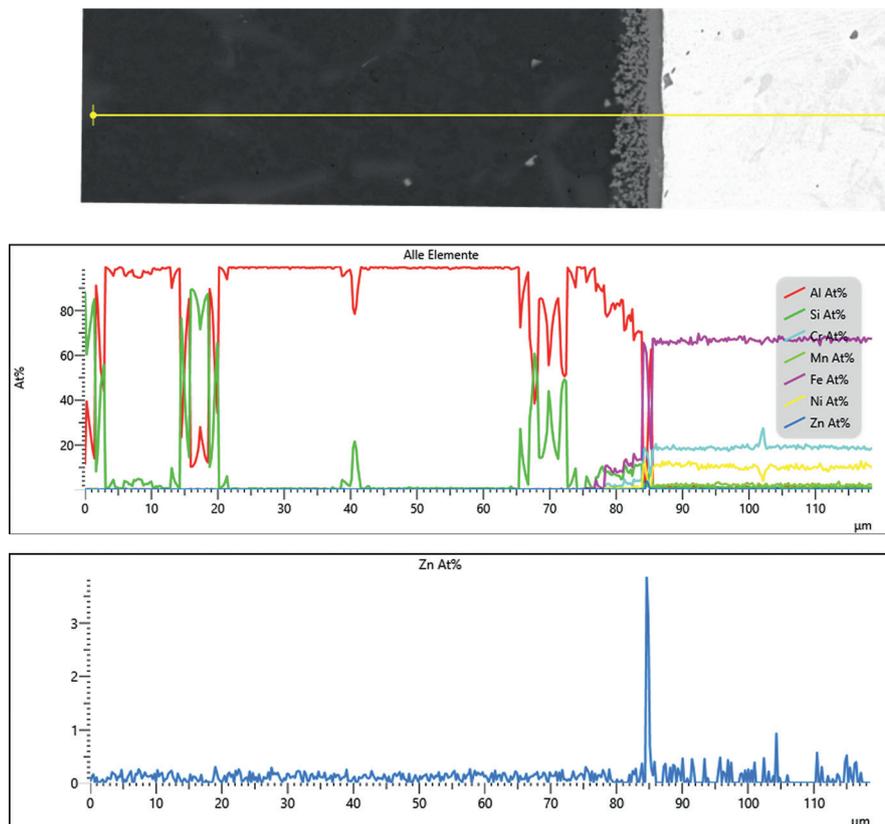


Bild 2: Querschliff durch die Interdiffusionszone zwischen einem ursprünglich mit 100 µm Schichtdicke feuerverzinkten Inserts aus Stahl 1.4571 und der Aluminiumlegierung AlSi9Mg nach Sandguss bei 740°C. REM-Bild (oben) und EDX-Linescan mit der Elementinformation für alle detektierten Elemente (Mitte) sowie isoliert für Zink (unten).

Neben der Verteilung der Leitelemente und Legierungsbestandteile in der Interdiffusionszone ist nur an der Oberfläche des Stahlwerkstoffes ein Rest der ursprünglichen Eisen-Zinkphasen zu finden. Die Elementverteilung in der Interdiffusionszone ist im Bild 3 nochmals vergrößert dargestellt.

Beim Umgießen der verzinkten Inserts aus Stahl 1.4571 mit AlSi9Mg bei einer Temperatur von 740°C verblieb noch eine zinkreiche Grenzschicht im Eisen-Aluminium-Stoffschluss: Den Aufbau der so entstehenden Interdiffusionsschicht zeigen die **Bilder 2 und 3**.

In der Versuchsdurchführung bei einer höheren Schmelzetemperatur von 780°C war hingegen kein Zink in der Interdiffusionsschicht mehr nachweisbar, wie die elementspezifische Analyse auf Zink im Bereich des Materialüberganges zeigt (**Bild 4**), der Aufbau dieser Interdiffusionszone entspricht somit jener eines Stoffschlusses, der auf klassischem Weg mittels Alfinierung hergestellt wurde.

Wie das Rauschen in der Elementdetektion des Zinks zeigt, wird die Nachweisgrenze des EDX-Verfahrens erreicht bzw. unterschritten, ein allfälliger, jedenfalls sehr niedriger Zinkgehalt kann nicht mehr aussagekräftig detektiert werden.

Auf der Oberfläche verzinkter Bauteile entstehen insbesondere bei längerer Lagerung Zinkoxide oder Zinkcarbonat, die im Gießprozess stören und Fehlstellen verursachen. Daher wurden die Inserts bei den durchgeführten Versuchen unmittelbar vor dem Einsetzen in die Form mit einem feinen Schleifvlies oberflächlich abgeschliffen. Eine solche mechanische Vorbehandlung der

Inserts konnte allerdings entfallen, wenn die verzinkten Bauteile vor dem Gebrauch unter getrockneter Luft gelagert wurden. Im Labormaßstab wurde hierfür ein mit Silica-Trockengel gefüllter Exsikkator verwendet.

Da jedoch sowohl eine mechanische Vorbehandlung als auch eine Lagerung in trockener Atmosphäre in der industriell-technischen Anwendung nur mit Aufwand umzusetzen sind, wurde versucht, diese zusätzlichen Arbeitsschritte durch eine kurze Tauchpassivierung der frisch verzinkten Eisenbauteile zu vermeiden.

Hierfür wurden die verzinkten Bauteile für wenige Sekunden bei Raumtemperatur in Bleichromatierlösung getaucht und anschließend mit Pressluft abgeblasen. Wie sich zeigte, verhinderte die sich ausbildende, nur 1 bis 2 µm dünne Bleichromatierung die oberflächliche Oxidation der Feuerverzinkung auch in feuchter Raumluft sehr wirkungsvoll. Allerdings wurde im Gießprozess durch diese Passivierung trotz deren geringer Schichtstärke die Interdiffusion zwischen Aluminiumschmelze und Zinkschicht de facto gänzlich unterbunden. Die Zinkschicht blieb bestehen, das Aluminium schrumpfte unter den Versuchsbedingungen nur formschlüssig auf das bleichromatier-feuerverzinkte Insert auf, ein stoffschlüssiger Verbund wurde auf diese Weise nicht erzielt.

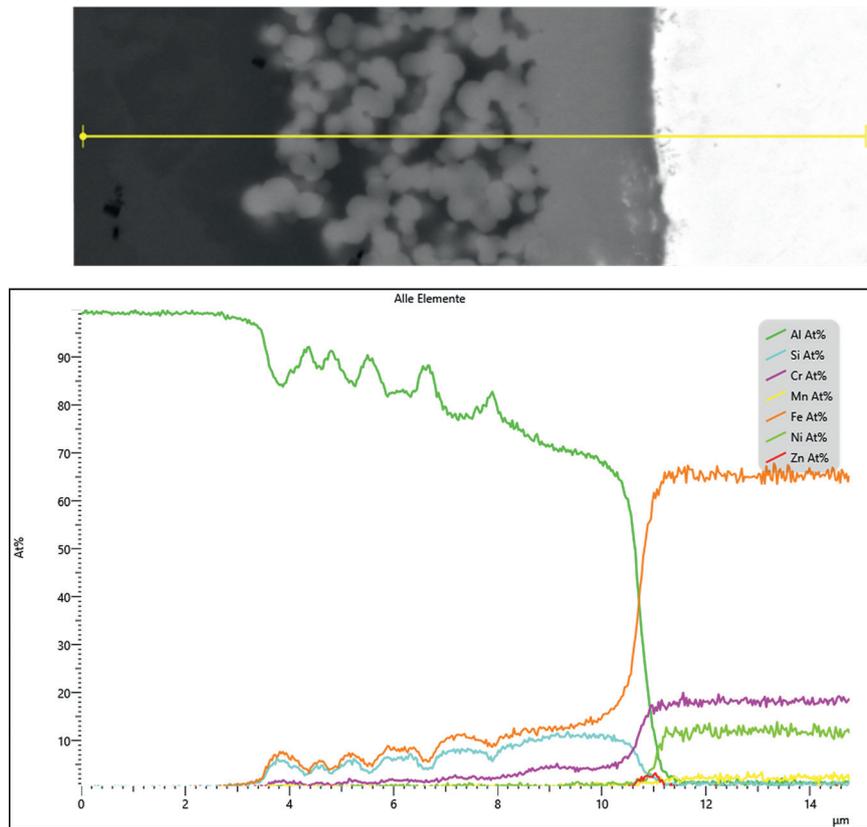


Bild 3: Querschliff durch die Interdiffusionszone eines ursprünglich mit 100 μm Schichtdicke feuerverzinkten Inserts aus Stahl 1.4571 mit der Aluminiumlegierung AlSi9Mg nach Sandguss bei 740°C. REM-Bild (oben) in hoher Vergrößerung und Darstellung der Elementinformation mittels EDX-Linescan für alle Elemente (unten). Zink ist nur in geringer Konzentration und in einem sehr engen Schichtdickenbereich zwischen 10,6 und 11,4 μm detektierbar.

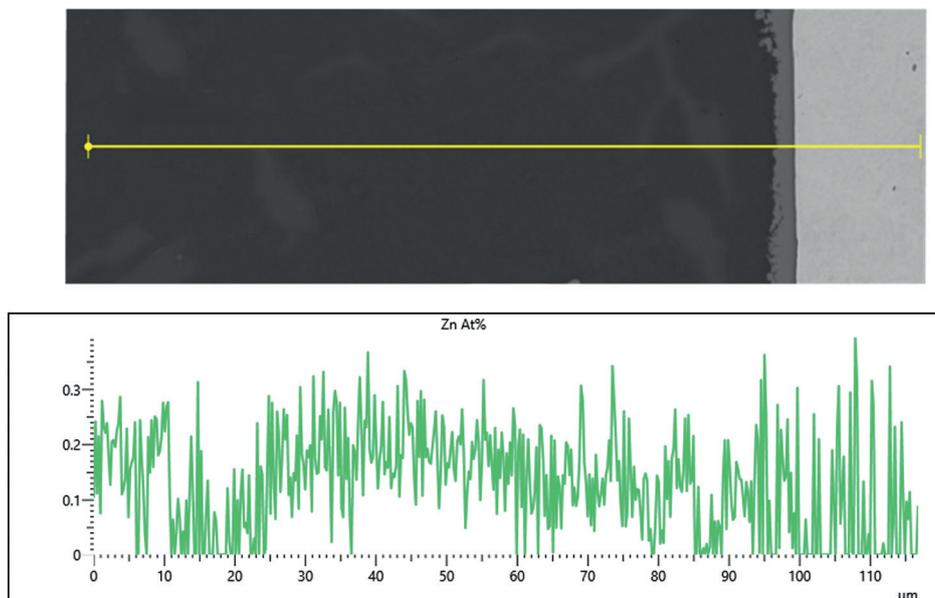


Bild 4: Querschliff durch die Interdiffusionszone eines ursprünglich mit 100 μm feuerverzinkten Inserts aus Stahl 1.4571 mit Aluminiumlegierung AlSi9Mg nach Sandguss bei 780°C. REM-Bild (oben) sowie der zugehörige EDX-Linescan mit der Elementinformation für Zink (unten).

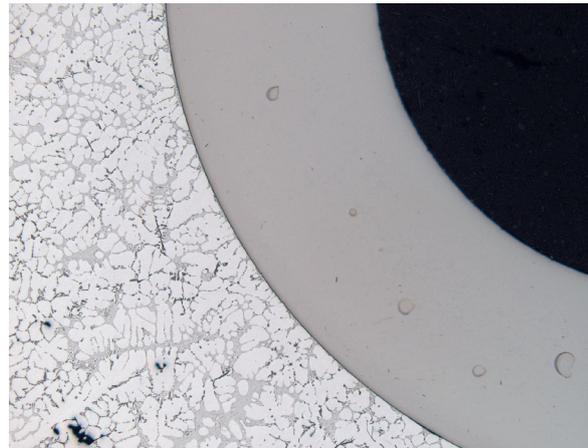
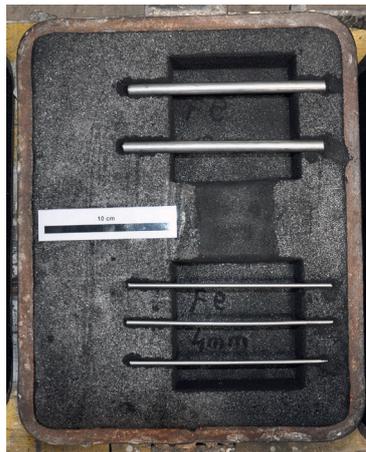


Bild 5: Vorversuche im Umgießen von Rohrleitungsmaterialien².

Von oben nach unten: Gussform mit eingelegten Inserts. Der Abguss der Hybridkomponenten. NDT-Analyse des Bauteils mittels Computertomografie (Glaskörperdarstellung mit virtuellem Schnitt durch das Bauteil). Schlifffanalyse der Fügezone der beiden Werkstoffe.

AUSBLICK UND ANWENDUNGSGEBIETE

Der Einsatz verzinkter Inserts stellt im Hybridguss eine Vereinfachung bei der Herstellung stoffschlüssiger Verbunde dar, da die Einlegeteile unter geeigneten Bedingungen gelagert und gegebenenfalls auch kalt in die Gussform eingebracht werden können. Die so herstellbaren stoffschlüssigen Hybridbauteile weisen keinen Spalt oder innere Kontaktflächen auf. Dies verbessert nicht nur die mechanischen Eigenschaften, sondern auch die Wärmeleitfähigkeit durch die Fügezone des Materialverbunds im erheblichen Ausmaß, da der Wärmefluss im Material ungestört erfolgen kann.

Am ÖGI wird daher auch als einer der Arbeitsschwerpunkte im weiteren Verlauf des Projektes „Multimaterialverbunde“ die Fertigung stoffschlüssiger Hybridbauteile für die Herstellung von Aluminiumgusshybriden mit eingelegten Rohrsystemen näher untersucht, wie sie beispielsweise auch in gegossenen Kühlelementen Verwendung finden.

Hierbei soll aufbauend auf Vorversuchen² der Einsatz von verzinkten Rohrmaterialien als Einlegeteile für eine einfachere stoffschlüssige Anbindung im Leichtmetallguss mit Aluminium erprobt werden (siehe Bild 5).

LITERATUR

- 1 DI Patrick Freytag, Institut für Werkstoffkunde, Universität Hannover. Download unter <https://phi-hannover.de/aus-einem-guss-kuehlkoerper-aus-aluminium-und-kupfer/> am 25.01.2023.
- 2 DI Bernd Panzirsch, Österreichisches Gießerei-Institut, Arbeitspaket im Forschungsprojekt „Funktionelle Multi-Material-Verbindungen“, Projekt unter Beteiligung der ACR-Institute ÖGI, OFI, SZA und ZFE sowie mit Unterstützung des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend, Endbericht vom 28.09.2012.