



FOTO: HOCHSCHULE AALEN

Druckguss-Demonstrator mit dreidimensionalem Hohlraum zur Medienleitung, hergestellt in der Verfahrensvariante der Gasinjektionstechnik.

Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt 3-D-Freiform – medienführende Kanäle im Druckguss

VON LOTHAR KALLIEN UND CHRISTIAN BÖHNLEIN, AALEN, ANDREAS DWOROG UND BASTIAN MÜLLER, NORDWALDE

Motivation und Potenzial

Das Druckgießverfahren als etablierter und weit verbreiteter Prozess zur Herstellung endkonturnaher Bauteile bietet aufgrund der hohen Produktivität und der Herstellbarkeit dünnwandiger Bauteilgeometrien ein sehr hohes Leichtbaupotenzial. Die zunehmende Funktionsintegration in Druckgussteilen und die gerade im Automobilbereich kleiner werdenden Bauräume führen zu immer aufwendigeren und komplexeren Druckgießwerkzeugen mit zahlreichen Kernzügen (Bild 1). Dennoch ist nicht jede beliebige Gussteilgeometrie im Druckgießverfahren herstellbar. Die

verfahrensbedingten Grenzen des Druckgießens werden gerade dann deutlich, wenn Hinterschnitte, die im Sand- oder Kokillengießverfahren durch die Verwendung verlorener Kerne darstellbar sind, in Druckgussbauteilen nicht mit Kernzügen abbildbar sind. Dennoch werden seitens der Automobilindustrie zunehmend in Druckgussbauteilen Hinterschnitte in Form von Hohlräumen gefordert, um durch Materialeinsparung neue Leichtbaukonzepte umzusetzen.

Ein nicht weniger bedeutendes Potenzial, welches durch Hohlräume in Druckgussbauteilen erschlossen werden kann, ist die Funktionsintegration der Medienführung. Im Automobilbereich können dies die Medien Luft, Wasser, Öle oder Kraftstoffe sein, die innerhalb eines Gussteils geleitet werden. So sind Ansaug- und



Bild 1: Werkzeugprinzipbild mit sieben konturgebenden Schiebern zur Darstellung eines Fluidmanagementmoduls der Hengst GmbH & Co. KG.

FOTO: HENGST

Einspritzkomponenten, Bremskraftverstärker, Filter, Motorblöcke und Zylinderköpfe im Druckgießverfahren darstellbar.

Neben diesen Anwendungsfeldern ist der Medienleitung im Bereich der Elektromobilität steigende Bedeutung beizumessen, da die erforderliche Leistungselektronik eine sehr hohe Wärmemenge freisetzt und von Bauteilen wie Elektronikgehäusen abgeführt werden muss.

Charakteristische Anforderungen der Automobilhersteller an medienführende Bauteile im Antriebsstrang sind neben Form- und Lagestabilität eine hohe Druckdichtigkeit, Temperaturwechselfestigkeit, dynamische Belastbarkeit und hohe Sauberkeit in den flüssigkeitsführenden Bereichen.

Bisher sind einfache Hinterschnitte in Gussteilen jedoch nur durch aufeinander-treffende Schieber mit prozessbedingt erforderlichen Entformungsschrägen umsetzbar, die bei der Medienleitung unweigerlich zu Druckverlusten führen. Diese machen leistungsstärkere Nebenaggregate im Antriebsstrang erforderlich und eine damit einhergehende Steigerung des Kraftstoffverbrauchs wird unabwendbar. Somit können organisch verlaufende Hohlraumgeometrien mit schlangelinienförmigen, langen und schlanken Kanälen, großen Radien in der Umlenkung oder auch Verzweigungen in medienführenden Gussbauteilen zu einer Effizienzsteigerung beitragen. Darüber hinaus kann durch die endkurnahe Gussgeometrie mit einer integrierten Strömungsgeometrie der Zerspanungs- und Montageaufwand durch den Wegfall von Schläuchen reduziert werden. Nicht zuletzt werden durch Hohlstrukturen in Druckgussbauteilen weitere Leichtbaupotenziale erschlossen.

Um Bauteile mit integrierten Hohlstrukturen höherer Geometriefreiheitsgrade im Druckgießverfahren herstellen zu können, wurde mit der Unterstützung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) das Verbundforschungsprojekt „3-D-Freiform – medienführende Kanäle im Druckguss“ initiiert. Das Konsortium bildete hierbei einen horizontalen und vertikalen Verbund der Wertschöpfungskette der Gießereibranche. Jeder der Partner besitzt hinsichtlich der gestellten Aufgabeninhalte wertvolle Erfahrungen und Vorkenntnisse. Das Konsortium setzte sich aus folgenden Projektpartnern zusammen:

- > Hengst GmbH & Co. KG, Nordwalde (Projektkoordinator),
- > Gießereinstitut der Hochschule Aalen, Aalen,
- > Aweba Werkzeugbau GmbH Aue, Aue,
- > Benteler Stahl/Rohr GmbH, Paderborn,
- > CeramTec AG, Lauf an der Pegnitz, und
- > Daimler AG, Ulm.

Das Forschungsvorhaben wurde von den assoziierten Partnern Aluminiumschmelz-

KURZFASSUNG:

Die Grenzen des Druckgießverfahrens werden gerade dann deutlich, wenn Hinterschnitte in Druckgussteilen nicht mit Schiebern oder Kernzügen im Werkzeug darstellbar sind. Hohlräume bieten neben dem Leichtbaupotenzial die Möglichkeit, die Medienführung innerhalb eines Gussteils zu übernehmen. Dieses Teilespektrum ist bisher jedoch Gießverfahren vorbehalten, die das Umgießen von Einlegeteilen oder den Einsatz verlorener Kerne erlauben. Zur Übertragung dieses Teilespektrums auf den Druckgießprozess wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens „3-D-Freiform – medienführende Kanäle im Druckguss“ drei Verfahrenstechnologien zur Darstellung von Hohlstrukturen in Druckgussteilen untersucht: das Eingießen metallischer Hohlkörpereinlagen, das Umgießen verlorener Salzkerne und die Volumenverdrängung durch Gasinjektionstechnik. Die drei Verfahrenstechnologien wurden an Demonstratoren untersucht, die an ein Ölfiltergehäuse und ein Strukturbauteil mit integriertem Hohlkanal angelehnt sind. Aufgrund der direkten Vergleichbarkeit der untersuchten Fertigungstechnologien hatte das Forschungsvorhaben den Charakter einer Machbarkeitsstudie, um neue Anwendungspotenziale im Druckgießprozess zu erschließen.

werk Oetinger GmbH, Weißenhorn, und Bühler Druckguss AG, Uzwil, Schweiz, unterstützt.

Jeder der beteiligten Projektpartner war in mancher Situation bereits an die Grenzen des Druckgießens, der Werkzeugtechnik, der Kerntechnologie, des Verbundgießens oder bei der Gestaltung von medienführenden Bauteilen gestoßen. Daher war es das Ziel des Forschungsvorhabens, verschiedene Herstellungsprozesse zur Darstellung dreidimensionaler Kanäle für medienführende Bauteile zu untersuchen und zu bewerten, um neue Teilespektren und Anwendungspotenziale im Druckgießprozess aufzeigen zu können.

Umsetzung

Zur Darstellung der dreidimensionalen Hohlräume in Druckgussbauteilen wurden drei Verfahrenstechnologien untersucht:

- > Eingießen metallischer Hohlkörpereinlagen (Rohre),
- > Umgießen verlorener Salzkerne und
- > Volumenverdrängung durch Gasinjektion.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden zwei anwendungsnahe Demonstratorbauteile entwickelt und konstruiert. Das erste Demonstratorbauteil ähnelte einem Ölfiltergehäuse mit einem Becherbereich für einen Filtereinsatz, einem schlanken Kanal mit 10 mm Innendurchmesser, einem dicken Kanal mit 25 mm Innendurchmesser und einem Flanschbereich (Bild 2). Im Verlauf des Forschungsvorhabens wurde als zweites Demonstratorbauteil ein flächiges Gussteil mit einer Y-Kanalverzweigung, das an ein Knotenelement innerhalb einer Karosseriestruktur erinnert, gewählt. Hiermit sollten die zukünftigen Integrationsmöglichkeiten von Hohlräumen und Leitungen in Strukturussteilen aufgezeigt

werden. Beide Gussgeometrien wurden durch Formfüll- und Erstarrungssimulationen gießtechnisch ausgelegt und zwei Demonstratorwerkzeuge aufgebaut. Dabei konnte von der Aweba Werkzeugbau GmbH ein modulares Werkzeugkonzept umgesetzt werden, welches in beiden Werkzeugen den Vergleich aller drei Verfahrensvarianten (Metallrohre, Salzkerne, Gasinjektion) ermöglichte.

Eingießen metallischer Hohlkörpereinlagen

Eine Möglichkeit zur Darstellung funktionaler Hohlräume in Druckgussbauteilen ist das Eingießen metallischer Hohlkörpereinlagen für den dauerhaften Verbleib im Gussteil. Das im Gießprozess eingelegte

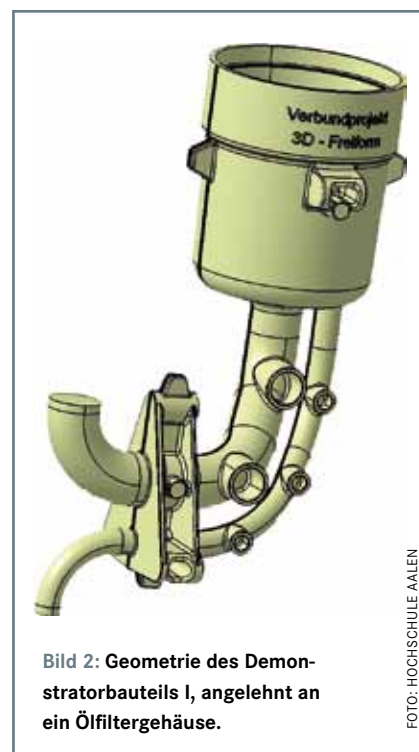


Bild 2: Geometrie des Demonstratorbauteils I, angelehnt an ein Ölfiltergehäuse.

FOTO: HOCHSCHULE AALEN

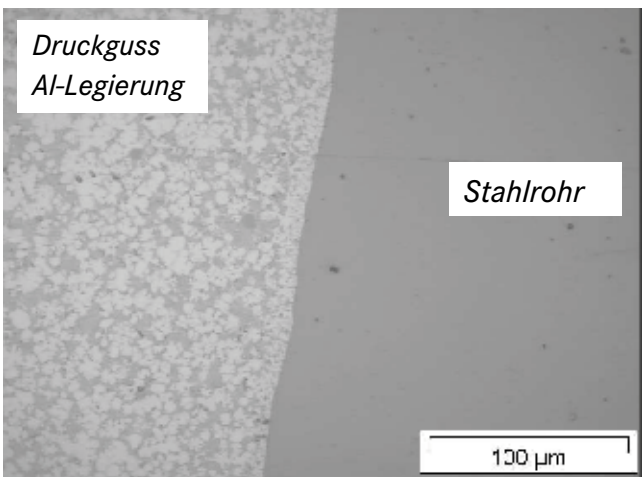
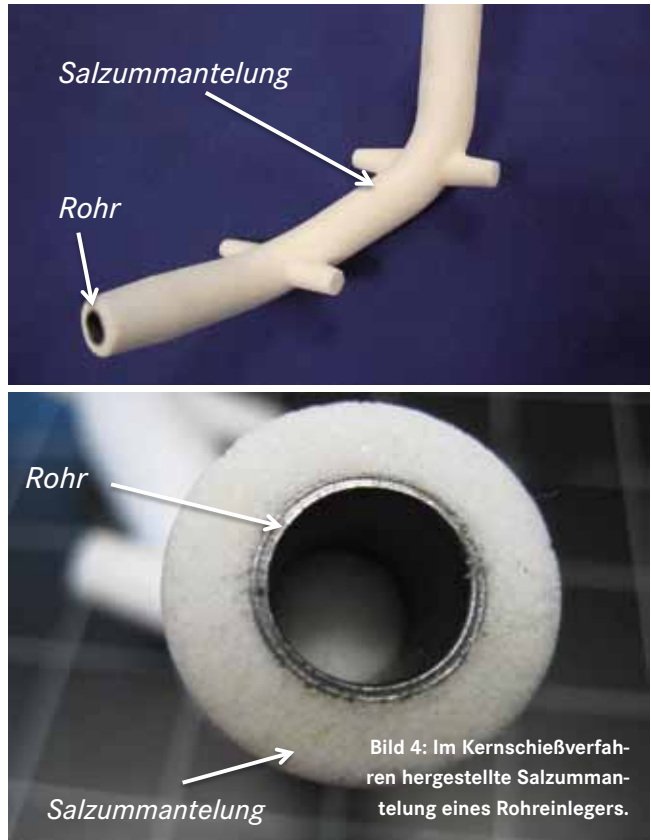
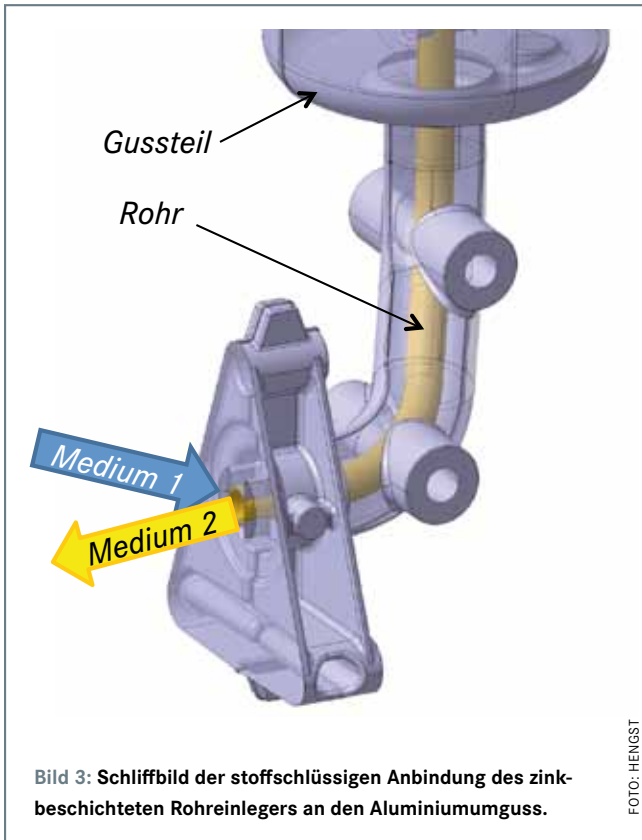


Bild 5: Umsetzung des Rohr-im-Rohr-Prinzips im Demonstratorbauteil I nach dem Ausspülen des Salzes.

einem Füllstoff versehen, der nach dem Umgießen entfernt werden musste.

Mit dieser Technologie ist auch ein nur partielles Umgießen eines beschichteten Rohrbereichs oder Teilstücks denkbar, um damit ausschließlich die Funktions-, Flansch- oder Knotenbereiche abzubilden. Die Stabilität und Fluiddurchleitung wird dabei allein durch den inneren Hohlkörper sichergestellt.

Umgießen verlorener Salzkerne

Die Verwendung verlorener Kerne zur Darstellung von Hinterschnitten ist im Kokillengießverfahren Stand der Technik. Die bedeutendste Anforderung an verlorene Kerne, die im Druckgießprozess eingesetzt werden sollen, stellt aufgrund hoher Schmelzegeschwindigkeiten und Metalldrücke eine ausreichend hohe Festigkeit dar. In diesem Zusammenhang ist auch die Forderung nach deren Maßhaltigkeit während des Umgießprozesses zu nennen, die infolge der Gießbedingungen und der herstellungsbedingten Restporosität der Kerne negativ beeinflusst wird. Die Kerne müssen während des Füllens der Form resistent gegen Ausspülungen sein und eine möglichst geringe Penetration der Oberfläche aufweisen. Darüber hinaus bietet eine hohe Oberflächenqualität der Kerne eine zwingende Voraussetzung zum Erhalt glattwandiger Gussstrukturen. Der Einsatz keramischer Kerntechnologien bietet folglich deutliche Vorteile gegenüber verlorenen

Rohr verhindert als schützende Hülle das Austreten des zu leitenden Fluids aus dem Aluminiumguss.

Die Technologie der eingegossenen Stahlrohre findet bei der Herstellung eines 8-Gang-Automatikgetriebegehäuses bereits Serienanwendung [1]. Dadurch konnte die bisher sehr aufwendige spanende Bearbeitung zur Darstellung von Ölversorgungskanälen ersetzt werden [2, 3]. Durch die Substitution des Werkstoffes Stahl durch Aluminium bei der Verwendung metallischer Hohlkörpereinlagen kann ein weiteres Potenzial zur Gewichtsreduzierung erschlossen werden, sofern die Stabilität des Aluminiumrohrs während des Umgießens durch einen Füllstoff gewährleistet werden kann [4, 5].

Die im Rahmen des Forschungsvorhabens durchgeführten Versuche mit um-

gossenen Aluminiumrohren zeigten jedoch kein Anschmelzverhalten an den Rohraußenwänden. Trotz einer Rohrwärmung reichte die Aktivierungsenergie nicht aus, um zwischen der Gusslegierung und den auf 300 °C erhitzten Aluminiumrohren einen metallischen Verbund zu erzeugen. Hingegen konnte durch eine Beschichtung der Stahlrohre mit Zink ein stoffschlüssiges Interface zwischen den Rohren und der Gusslegierung gebildet werden (Bild 3). Dabei wurden für das Interface Zugfestigkeiten von bis zu 26,5 N/mm² gemessen. Die Werte waren insbesondere abhängig von der Beschichtungsart, -dicke und der Vorwärmtemperatur der eingelegten Rohre. Um dem Kollabieren der verwendeten Stahlrohre im Druckgießprozess entgegen zu wirken, wurden diese vor dem Umgießprozess mit

Kernen aus Sand [6]. In direktem Konflikt zur geforderten Stabilität während des Umgießprozesses steht jedoch der Anspruch, dass die verlorenen Kerne nach dem Umgießen gute Zerfallseigenschaften aufweisen und rückstandsfrei aus dem Gussteil entfernbar sein müssen. Aufgrund der Löslichkeit in Wasser bieten verlorene Kerne aus Salz ein sehr hohes Potenzial zur Darstellung von Hohlräumen beim Druckgießen [7].

Zur Aufhebung der mit dem uniaxialen Pressverfahren verbundenen Geometrie einschränkungen wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens nach einem Verfahrensweg gesucht, komplexere Salzkerngeometrien mit Wanddickensprüngen abzubilden. Dabei wurde durch die CeramTec AG das Kernschießverfahren um den Werkstoff Salz erweitert. Das Erreichen der Endfestigkeit erfolgte hierbei nicht über einen Press- und Sinterprozess des pulverförmigen Salzes, sondern wurde nach dem Schießprozess durch die Aushärtung eines geeigneten Bindersystems sichergestellt [8].

Untersuchungen mit einer zweidimensionalen Prinzipgeometrie im Gießereilabor der Hochschule Aalen haben gezeigt, dass die geschossenen Kerne selbst bei niedrigen Kolbengeschwindigkeiten und Gießdrücken versagten. Der eingesetzte gepresste Salzkern hielt den im Druckgieß-

prozess auftretenden Belastungen nicht Stand und ist mehrfach gebrochen. Infolge der herstellungsbedingten Restporosität und des hohen Gießdrucks wurde der geschossene Salzkern komprimiert. Die Kanaloberfläche des Gussteils wies nach dem Ausspülen des Kerns eine hohe Penetration auf. Durch Infiltrierung der Salzkernoberfläche mit einem fein gemahlten Stoff konnte die herstellungsbedingte Restporosität verringert werden. Der Auftrag einer wasserlöslichen Schlichte auf Salzbasis verminderte die Penetration. Durch diese Maßnahmen konnte die Beständigkeit im Druckgießprozess gesteigert werden, sodass die Herstellung von Hohlräumen mit reduzierten Anschnittgeschwindigkeiten und Gießdrücken mit allseitiger Kompression, aber ohne Bruch möglich war. Dafür musste jedoch ein schlechteres Ausspülverhalten in Kauf genommen werden.

Des Weiteren wurde die Verfahrensvariante der eingegossenen Rohre mit der Variante der verlorenen Salzkern kombiniert. Bei diesem Ansatz sollte ein Doppelkanal in das Demonstratorgussteil eingebracht werden. Umgesetzt wurde diese Idee, indem der Stahleinleger im Kernschießverfahren zunächst mit Salz ummantelt wurde (Bild 4). Dieser ummantelte Rohreinleger wurde im ersten Demonstratorwerkzeug eingelegt und mit Alumini-

um umgossen. Zusätzlich zu dem Hohlraum, der durch das Stahlrohr gebildet wird, ergibt das Ausspülen der Salzummantelung einen weiteren Hohlraum zwischen dem Aluminium der Gusskontur und dem eingegossenen Stahlrohr. Durch das Rohr-im-Rohr-Prinzip konnten mit nur einem einzigen Einleger zwei voneinander getrennte Kanäle innerhalb eines Gussteils geschaffen werden, die beispielsweise mit unterschiedlichen Medien oder im Gegenstromprinzip durchströmt werden können (Bild 5). Mit dieser Technologie können folgende Potenziale erschlossen werden:

- > Funktionsintegration von Ab- und Zulauf mit nur einem Anschluss,
- > Gewichtersparnis am Bauteil durch Einsparung eines Kanalarms und
- > Vereinfachung von Wärmetauschern.

Auf den Einsatz von Bindemitteln zur Aushärtung gepresster Salzkern kann hingegen vollständig verzichtet werden, wenn Salzkern aus der flüssigen Phase hergestellt werden. Die Verarbeitung von Salzschnmelzen auf einer Druckgießmaschine erlaubt gegenüber den Press- und Sinterverfahren die Darstellung selbst komplexer Kerngeometrien. Zur Validierung dieser Technologie wurden unterschiedliche Salzzusammensetzungen in einem Tiegel

ANZEIGE
1 / 2
174 x 128



FOTO: HOCHSCHULE AALEN

Bild 6: Auf einer Druckgießmaschine aus der schmelzflüssigen Phase hergestellter Salzkern.

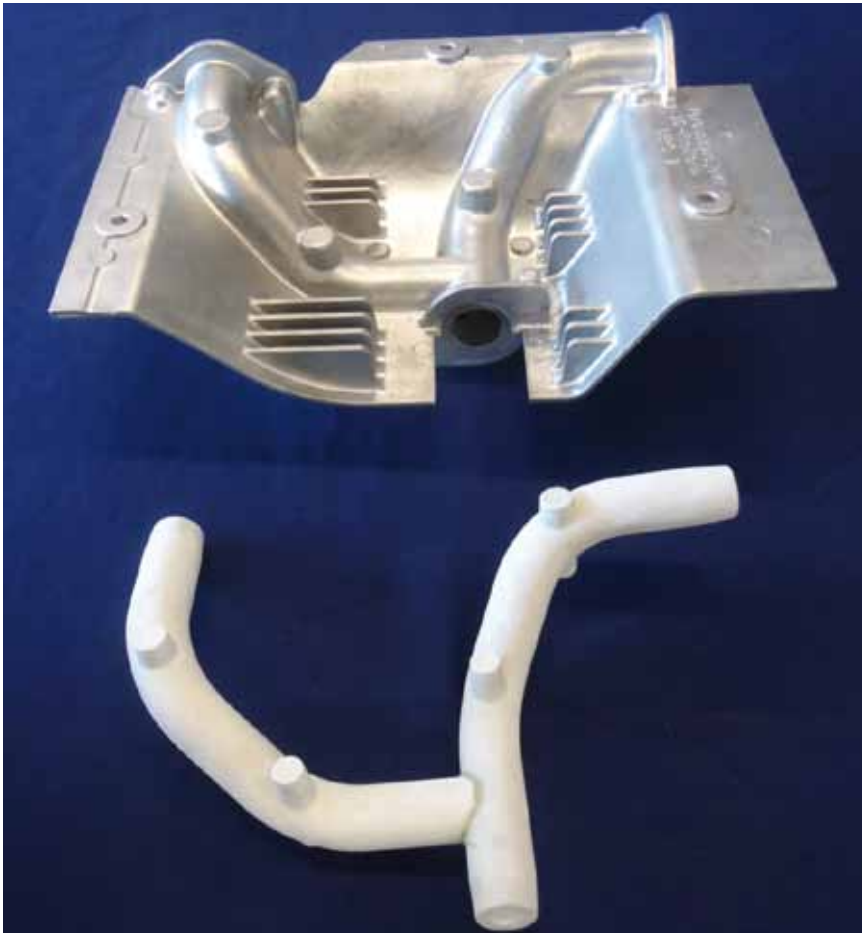


FOTO: HOCHSCHULE AALEN

Bild 7: Kernpaket aus zwei gegossenen Salzkernen und Demonstratorbauteil II mit eingebrachter Hohlstruktur.

erschmolzen und auf einer Druckgießmaschine (Schließkraft 7500 kN) im Gießereilabor der Hochschule Aalen vergossen. Die aus der flüssigen Phase hergestellten Salzkern wiesen aufgrund der hohen Abbildungsgenauigkeit und der schnellen Abkühlungsverhältnisse des Salzes im Bereich der Randschicht eine sehr feste und geschlossene Oberfläche auf [9]. Die gewählte Kerngeometrie ermöglichte es, die gegossenen Salzkern sowohl einzeln (Bild 6)

im Demonstratorwerkzeug I als auch als gefügtes Kernpaket (Bild 7) im Demonstratorwerkzeug II einzusetzen.

Bei den Umgießversuchen zeigte sich, dass die Salzkern zuverlässig in das Gießwerkzeug eingelegt und fixiert werden konnten. Die Vorwahl kernschonender Gießparameter war beim Umgießen der geschmolzenen Salzkern mit Aluminium nicht erforderlich. Die Bewertung der Lageabweichungen von den Innenkanälen erfolgte

über Röntgenbilder, Computertomographie-Auswertungen und optische Vermessungen der Druckgussbauteile. Aufgrund der geringen Restporosität der Salzkern blieb trotz einer Nachverdichtung von 1000 bar zur Steigerung der Gussqualität eine Kompression der Salzkern aus. Die Lageabweichung des entstehenden Hohlkanals konnte mit einer Toleranz von $\pm 0,5$ mm zum CAD-Modell eingehalten werden.

Das Ausspülen der Salzkern aus dem Umguss war mit einem Hochdruckwasserstrahl rückstandsfrei möglich und wurde typischen Restschmutzforderungen gerecht. Die Randbereiche wiesen keinerlei Aufschmelzverhalten und eine sehr hohe Oberflächengüte auf. Die durch gegossene Kern abgebildeten Kanalinnenflächen lieferten Oberflächen bis zu einer gemittelten Rautiefe von $Rz = 16 \mu\text{m}$. Durchgeführte Röntgenuntersuchungen bestätigten, dass die Hohlstruktur beider Kanäle über die gesamte Länge durchgehend dargestellt werden konnte und eine gleichbleibende Wanddicke aufwies (Bild 8). Selbst die Fügestelle der Einzelkern hielt den auftretenden Belastungen während des Formfüllprozesses stand. Darüber hinaus waren in den Demonstrationsbauteilen keine auffälligen Poren durch Gas- oder Feststoffeinschlüsse zu finden.

Gasinjektion

In der Kunststoff-Spritzgießtechnik ist ein Verfahren bekannt, welches die Darstellung von Hohlräumen und die Herstellung integraler Funktionsbauteile durch Einbringen einer Gasblase in Kunststoffbauteilen ermöglicht [10-12]. Diese Technologie wurde von der Hochschule Aalen bereits auf metallische Werkstoffe übertragen, sodass das Einbringen einer Gasblase in einfache Gussgeometrien, die im Druckgießverfahren hergestellt wurden, möglich war [13].

Bei dem dabei angewendeten Verfahren konnte die Gasblase jedoch nur in Metallströmungsrichtung eingebracht werden. Das Einbringen einer Hohlgeometrie in komplexe Gussteile muss jedoch unabhängig von der Schmelzeströmung erfolgen, da sonst Gaseinschlüsse in den zuletzt gefüllten Bauteilbereichen zu erwarten sind. Zur Aufhebung dieser Einschränkung wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens als Prozessvariante das Gasinjektionsverfahren mit verschließbarer Nebenkavität angewendet. Die Nebenkavität ist durch einen beweglichen Sperrschieber vom Formhohlraum abgetrennt, sodass diese während des Formfüllhubes nicht mit Schmelze gefüllt wird. Das Füllen des Formhohlraums mit Aluminium erfolgt mit konventionellen Gießparametern und der Nachdruck zur Verdichtung des Metalls wird zugeschaltet. Noch während des Erstarrungsprozesses wird die Ne-

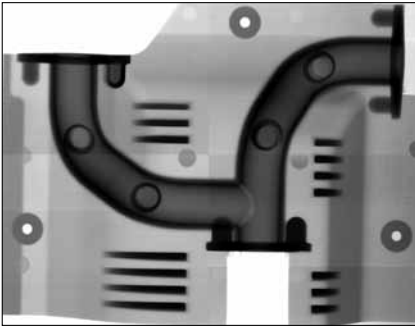


Bild 8: Röntgenbild des Demonstratorbauteils II nach dem Ausspülen des geschmolzenen Salzkerns.

benkavität im Gießwerkzeug geöffnet und das Prozessgas über einen Gasinjektor in den Restschmelzbereich eingeleitet. So werden die noch nicht erstarrten Bereiche in die Nebenkavität verdrängt und zeitgleich wird ein Hohlraum im Gussteil erzeugt.

Neben den hohen Temperaturen stellen jedoch die schnellen Formfüll- und Erstarrungsvorgänge metallischer Werkstoffe im Druckgießprozess gegenüber dem Kunststoff-Spritzgießen deutlich härtere Anforderungen an den gesamten Gasinjektionsprozess.

Für den Einsatz dieser Technologie wurde eine Gasinjektionsanlage entwickelt und aufgebaut, mit der die Gaseinleitung und die Freigabe der Nebenkavität vielfach schneller gesteuert werden konnten als bei einer aus der Kunststofftechnik bekannten Anlage. Zur Erfassung und Bewertung der innerhalb weniger Millisekunden ablaufenden Prozesse wurden das Druckgießwerkzeug mit Sensoren instrumentiert und die Prozessparameter in einer autonomen Messwerterfassung zusammengeführt. Über die sensorgesteuerte Verknüpfung von Gieß- und Gasinjektionsprozess konnten Prozessschwankungen und Unre-

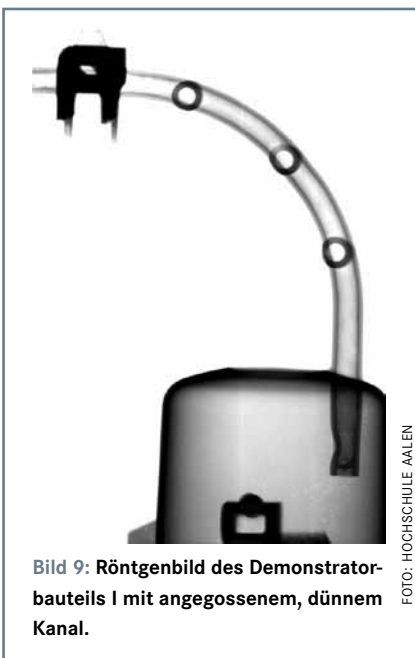


Bild 9: Röntgenbild des Demonstratorbauteils I mit angegossenem, dünnem Kanal.

gelmäßigkeiten reduziert werden. Zugleich konnte die Adaption der gesamten Technologie maschinenunabhängig erfolgen.

Die beiden Kanäle des ersten Demonstratorbauteils verlaufen getrennt voneinander, sodass zwei voneinander unabhängig steuerbare Gaseinleitungen erforderlich waren. Zunächst wurde jedoch nur das Einbringen einer Gasblase in den dünnen Kanal untersucht (Bild S. XXX). Das Röntgenbild des Demonstratorbauteils mit angegossenem, dünnem Kanal zeigt **Bild 9**. Der Kanal konnte durch das Gasinjektionsverfahren vom Topf über den Flanschbereich hinaus durchgängig hohl geblasen werden. Weiterhin wird deutlich, dass die Wanddicke über die gesamte Länge sehr gleichmäßig ausgebildet werden konnte. Durch Anpassung der Injektionsparameter konnte auf den Querschnitt der Gasblase bzw. die Dicke der Wandung Einfluss genommen werden. Bei gleichem Außendurchmesser konnten sowohl Gussteile mit dicken als auch dünnen Kanälen erzeugt werden (**Bild 10**). Die Versuche zur Gasinjektionstechnik mit dem dicken Kanal wurden analog durchgeführt. Das Röntgenbild (**Bild 11**) bestätigt, dass auch im dicken Kanalquerschnitt eine durchgängige Gasblase eingebracht werden konnte. Der aus der Kunststofftechnik bekannte Vorteil der Nachverdichtung der durch Gasinjektion entstandenen Hohlstruktur konnte auch bei der Verarbeitung von Aluminium nachgewiesen werden. Durch Messung der Bauteildichte wurde bestätigt, dass diese durch Anwendung eines hohen Gasdrucks gesteigert werden kann.

Nachdem die Gaseinleitung einzeln in beiden Kanalarmen nachgewiesen wurde, erfolgte die Gaseinleitung zeitgleich in beide Kanäle. Bei den Versuchen wurde sowohl im Bereich des Topfes als auch im Bereich des Flansches ein Gasdurchbruch beobachtet, der durch Variation der Prozessparameter nicht vermieden werden konnte. Dies war auf Restschmelzbereiche während des Erstarrungsprozesses aufgrund des hohen Wärmeeintrags zurückzuführen.

Die Simulation des Erstarrungsvorgangs lieferte mit der Darstellung der Restschmelzbereiche für die Gasinjektionstechnik wertvolle Ergebnisse, die bereits bei der Werkzeugauslegung zur Vermeidung eines Gasdurchbruchs berücksichtigt werden können (**Bild 12**).

Zur Vermeidung der lokalen Hitzezentren im Bereich des Topfes und des Flansches wurde die Jet-Cooling-Technologie eingesetzt. Die Jet-Cooling-Injektoren wurden im Druckgießwerkzeug integriert. Dieses System bietet den Vorteil einer effektiven lokalen Temperierung selbst filigraner Werkzeuggeometrien nahe der

ANZEIGE
1/3
54 x 260



Bild 10: Darstellung unterschiedlicher Gasblasendurchmesser im Kanalquerschnitt durch Gasinjektion.

FOTO: HOCHSCHULE AALEN



Bild 11: Röntgenbild des Demonstratorbauteils I mit angegossenem, dickem Kanal.

FOTO: HOCHSCHULE AALEN

Formoberfläche, da überhitzte Bereiche aktiv mit unter Druck stehendem Wasser gekühlt werden. Die Gasdurchbrüche im Topf- und Flanschbereich konnten durch diese Änderung jedoch nicht vermieden werden.

Die Verwendung von Gasinjektoren aus der Kunststofftechnik war aufgrund des metallostatischen Druckes am Ende der Formfüllphase nicht möglich. So wurde eine Injektorgeometrie entwickelt und im Rahmen der durchgeführten Versuche erprobt. Hierbei zeigte sich, dass der Gasinjektor den im Druckgießprozess auftretenden Strömungs-, Temperatur- und Druckbelastungen Stand hielt. Die integrierte Mechanik ermöglichte einerseits die Gaseinleitung in das Gussteil und verhinderte andererseits bei Zuschaltung des Nachdrucks den Metalleintritt in den Injektor selbst.

Mit der Instrumentierung des Druckgießwerkzeugs und der Entwicklung der Messtechnik ist es gelungen, die Abläufe während des Gasinjektionsprozesses messtechnisch zu erfassen. So wurde es möglich, Unregelmäßigkeiten im Prozess zu entdecken und diese zu eliminieren. Darüber konnte durch die Messtechnik die Ausprägung der entstehenden Gasblase bereits während des Prozesses noch bei geschlossener Form beurteilt werden [14].

Fazit

Das Forschungsvorhaben hatte den Charakter einer großen Machbarkeitsstudie, welche den direkten Vergleich dreier Fertigungstechnologien erlaubte.

Das Eingießen von metallischen Rohreilegern zählt heute bereits zum Stand der Technik und bietet für nicht geradlinige Innenkanäle eine Alternative zu komplexen Werkzeugkonzepten. Dabei stellen die Festigkeit des Hohlkörpers während des Umgießens und die Anbindung an das Umgussmaterial die limitierenden Faktoren im Druckgießprozess dar. Darüber hinaus wird das Recycling bei einem Materialverbund aus Aluminium und Stahl erschwert.

Die Gasinjektionstechnik bietet verfahrensbedingt das größte Potenzial, da keine Einleger bereitgestellt, definiert im Gießwerkzeug positioniert und wie verlorene Kerne zur Darstellung eines Hohlraums aus dem Gussteil ausgespült werden müssen. Auch kann durch Anpassung der Prozessparameter unmittelbar Einfluss auf die verbleibende Wanddicke genommen werden. Bei diesem Verfahren ist jedoch zu berücksichtigen, dass die entstehende Hohlstruktur infolge des vorgegebenen Erstarrungsprozesses an die Geometrie der Außenkontur angelehnt ist. Im Rahmen des Forschungsvorhabens konnte die Prozesstechnik der Gasinjektion deutlich verbessert und um eine Messtechnik erweitert werden. So konnten die innerhalb weniger Millisekunden ablaufenden Vorgänge erfasst und eine Beurteilung der Gasblase ermöglicht werden. Die für eine Serienanwendung geforderte Reproduzierbarkeit ist aufgrund des sehr engen zur Verfügung stehenden Prozessfensters jedoch noch nicht gegeben und wird derzeit an der Hochschule Aalen in einem weiteren Forschungsvorhaben vorangetrieben.

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse steht das Umgießen von geschmolzenen

Salzkernen der Markteinführung am nächsten. Wesentliche Grundlagen wie Materialkennwerte der Salzgusskerne unterschiedlicher Zusammensetzungen und damit die Vorhersagbarkeit stellen nächste Handlungsfelder dar, die für die Bauteilauslegung unumgänglich sind. Aus der Sicht der Automobilindustrie muss die Prozessfähigkeit noch nachgewiesen werden. Dennoch bewerten die Autoren die Vorentwicklung eines Bauteils mit medienführenden 3-D-Freiformkanälen mit dieser Technologie als zielführend.

Ausblick

Die Untersuchungen haben bestätigt, dass der Verwendung von Salzkernen aus der schmelzflüssigen Phase großes Potenzial beizumessen ist. Großvolumige Hinterschnitte in komplexen Gussteilen erfordern jedoch schwere Kerngeometrien, die infolge des hohen Gewichts nur aufwendig für das Umgießen im Druckgießwerkzeug platziert werden können. Großen Optimierungsbedarf erfährt in diesem Zusammenhang der erforderliche Materialeinsatz für eine Kerngeometrie, die nach dem Umgießen aus dem Gussteil vollständig ausgespült werden muss. Darüber hinaus verlängern massive Geometrien dickwandiger Kerne die Ausspülzeit enorm.

Durch die Herstellung von Salzkernen aus der schmelzflüssigen Phase im Druckgießverfahren in Kombination mit der materialverdrängenden Gasinjektionstechnik lassen sich diese limitierenden Faktoren aufheben. Insbesondere die Ausspülzeit kann dadurch verkürzt werden, dass der Wasserstrahl bereits zu Beginn des Ausspülvorgangs infolge der eingebrachten Hohlstruktur durch den gesamten Salzkern geleitet wird und nicht gegen eine geschlossene Salzstruktur prallt und zurückgelenkt wird. Mit der Technologie der hohlen Salzkernne kann ein Bauteilspektrum erschlos-

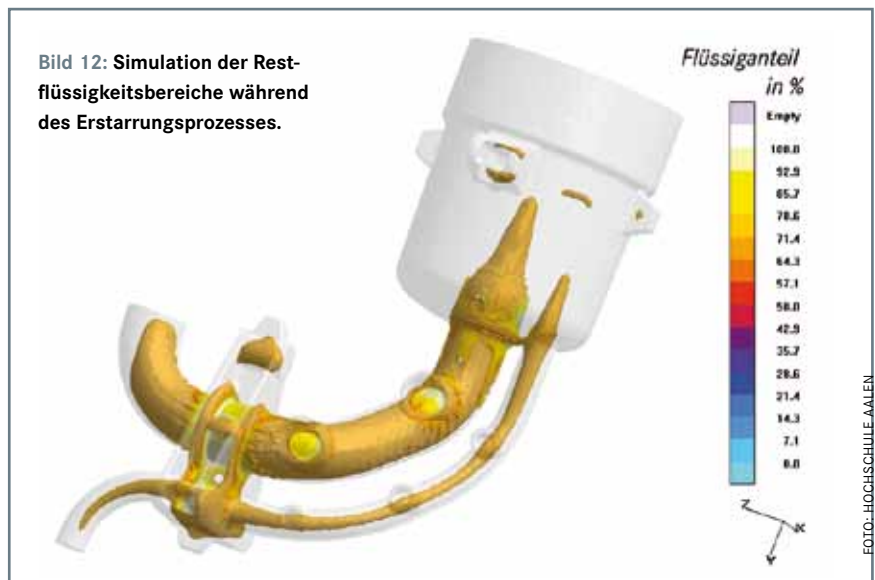


Bild 12: Simulation der Restflüssigkeitsbereiche während des Erstarrungsprozesses.

FOTO: HOCHSCHULE AALEN

sen werden, das bisher nicht im Druckgießverfahren abbildbar war: Strukturhohl-guss.

Wir danken allen beteiligten Projektpartnern für die erfolgreiche Zusammenarbeit und die umgesetzten Arbeitspunkte sowie dem BMBF für die unterstützende Förderung. Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“ gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Prof. Dr.-Ing. Lothar Kallien und Dipl.-Ing. (FH) Christian Böhnlein, Gießereitechnologie, Hochschule Aalen, Dr.-Ing. Andreas

Dworog und Dipl.-Ing. (FH) Bastian Müller, Hengst GmbH & Co. KG, Nordwalde

Literatur:

- [1] *Giesserei 96 (2009), [Nr. 12], S. 83-84.*
- [2] *Connect (2009), [Nr. 2], S. 2-3.*
- [3] *Giesserei 97 (2010), [Nr. 11], S. 74-77.*
- [4] *Giesserei 98 (2011), [Nr. 8], S. 69-70.*
- [5] *Giesserei 99 (2012), [Nr. 2], S. 22-27.*
- [6] *Moschini, R.; Boni, R.; Molina, R.: Closed-deck-Motorblöcke mit SSR-Technologie und keramischen Kernen. Aalener Gießerei Kolloquium, 4.-5. Mai 2011, Aalen.*
- [7] *Schäfer, A.: Hochfeste Spezialkerne für den Aluminium-Druckguss. Formstofftage Duisburg. 22.-23. Februar 2000, Duisburg.*
- [8] *Giesserei-Erfahrungsaustausch (2009), [Nr. 6], S. 3-9.*
- [9] *Kallien, L.: Funktionale Hohlräume im Druckguss – Ergebnisse aus dem 3D-Frei-*

form-Forschungsvorhaben. Internationaler Deutscher Druckgusstag, 17.-19. Januar 2012, Nürnberg.

[10] *Eyerer, P., u. a.: Gasinjektionstechnik. Carl Hanser Verlag, 2003.*

[11] *Johannaber, F.; Michaeli, W.: Handbuch Spritzgießen. 2. Auflage. Carl Hanser Verlag, 2004.*

[12] *Michaeli, W., u. a.: Technologie des Spritzgießens. 3. Auflage. Carl Hanser Verlag, 2009.*

[13] *Kallien, L.; Weidler, T.; Böhnlein, C.: New developments in gas injection for high pressure die casting. NADCA – Metalcasting Congress, 7.- 10. April 2009, Las Vegas, NV, USA.*

[14] *Böhnlein, C.; Kallien, L.: 3-dimensionale Strukturen im Druckguss durch Gasinjektion. Leichtbau in Guss, 26.-27. Oktober 2010, Landshut.*

ANZEIGE
1/2
174 x 128