

FOTOS: HOCHSCHULE AALEN



Durch Gasinjektionstechnik hergestelltes Demonstratorbauteil aus Magnesiumdruckguss mit Hohlkanal zur Erhöhung der Steifigkeit.

Magnesiumdruckgießen mit Hohlstrukturen durch Gasinjektionstechnik im Warmkammerverfahren

VON LOTHAR KALLIEN, THOMAS WEIDLER UND MARCEL BECKER, AALEN

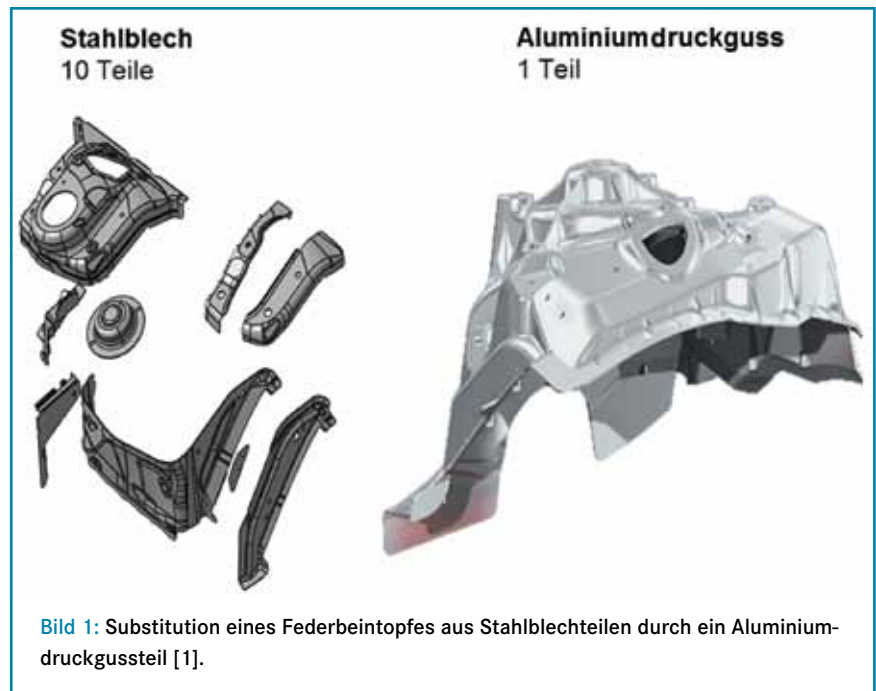
Der Einsatz von Leichtbaustrukturen im Karosserie- und Rohbau eines Kraftfahrzeugs trägt dazu bei, den gegenwärtigen Umweltaforderungen hinsichtlich CO₂-Emissionen und Kraftstoffverbrauch gerecht zu werden. Es ist notwendig, das hohe Leichtbaupotenzial durch die Nutzung besonders leichter Werkstoffe wie Magnesium auszuschöpfen. Druckgießen bietet die Möglichkeit, Strukturbauteile aus Leichtbauwerkstoffen wie Aluminium und Magnesium in großen Stückzahlen zu günstigen Preisen herzustellen, denn Druckgießen ist eines der wirtschaftlichsten Gießverfahren. Druckgegossene Bauteile weisen darüber hinaus gute mechanische Eigenschaften und sehr kleine Wanddicken auf.

Speziell im Automobilsektor werden verstärkt gussintensive Karosseriekonzepte entwickelt, um das Gesamtgewicht zu reduzieren. Aluminiumintensive Karosseriekonzepte sind bislang noch auf Fahrzeuge der Oberklasse beschränkt, halten

jedoch auch in anderen Fahrzeugklassen wie der neuen C-Klasse von Daimler Einzug [1-4].

Im Karosserie- und Rohbau werden zunehmend Gussprodukte aus Aluminium

oder Magnesium verwendet, wenn mehrere umgeformte Einzelteile durch ein Gussteil substituiert werden können. Ein Beispiel hierfür ist der Federbeintopf (Bild 1).



Konstruktionen aus Magnesium wären noch geeigneter, konventionelle Strukturen aus Aluminium und Stahlblech zu ersetzen, da Magnesiumlegierungen mit einer Dichte von 1,71 bis 1,83 g/cm³ zu den leichtesten technischen Metallen gehören. Ein wesentlicher Nachteil gegenüber Aluminium ist jedoch der niedrige Elastizitätsmodul von 45 GPa. Die Eigenschaften eines Bauteils, insbesondere die Steifigkeit, sind aber nicht nur werkstoffabhängig, sondern werden zum Großteil durch die konstruktive Gestaltung bestimmt. So muss der geringe Elastizitätsmodul von Magnesium für einen Einsatz im Bereich der Strukturbauteile durch geometrische Modifikationen in Form von Hohlstrukturen kompensiert werden. Dreidimensionale Hohlstrukturen wie in **Bild 2** sind aber durch Druckgießen, wenn man von der Verwendung von Salzkernen absieht, nicht darstellbar.

Eine innovative Technologie zur Erzeugung dreidimensionaler Hohlstrukturen ist die Gasinjektionstechnik, die ursprünglich aus der Kunststofftechnik kommt [6] und bisher nur im Kaltkammerdruckgießverfahren eingesetzt wurde [7, 8].

Der Gasinjektionsprozess

Beim Gasinjektionsprozess wird im Bauteil ein Hohlraum erzeugt, indem ein unter hohem Druck einströmendes Gas die noch schmelzflüssigen inneren Bereiche des erstarrenden Bauteils in eine Nebenkavität verdrängt. Mit dieser Technologie ist es möglich, Hohlräume im Druckgießverfahren herzustellen. **Bild 3** zeigt unterschiedliche Geometrien, die bereits im Kaltkammerdruckgießverfahren an der Hochschule Aalen Technik und Wirtschaft, Aalen, aus Aluminium- und Magnesiumlegierungen hergestellt wurden.

Diese Veröffentlichung beschreibt die neusten Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „Gasinjektionstechnik im Magnesiumwarmkammerdruckgießverfahren“, das zum Ziel hatte, die Gasinjektionstechnik unter Berücksichtigung notwendiger Sicherheitsvorkehrungen auf das Magnesiumwarmkammerdruckgießverfahren zu übertragen. **Bild 4** zeigt schematisch den Ablauf des Gasinjektionsverfahrens: Zunächst wird die Hauptkavität im Werkzeug mit Schmelze gefüllt. Die Nebenkavität ist während des Formfüllens durch einen Verschlussstift von der Hauptkavität getrennt. Wird nun durch den Gasinjektor Gas mit hohem Druck eingeleitet, wird die Schmelze im Inneren des Gussteils in die nun geöffnete Nebenkavität verdrängt und der Hohlraum entsteht.

KURZFASSUNG:

Der Artikel beschreibt die Entwicklung und die Anwendung der Gasinjektionstechnik auf das Warmkammerdruckgießverfahren von Magnesium. Motivation ist der Einsatz des leichten Werkstoffes Magnesiums für ein Strukturbauteil in der Karosserie von Fahrzeugen. Mit durch Gasinjektionstechnik hergestellten Kanälen könnte dabei der im Vergleich zu Stahl oder Aluminium niedrige E-Modul von Magnesium durch die Versteifung der Struktur zumindest teilweise kompensiert werden. Um die Magnesiumteile im ressourcenschonenden Warmkammerverfahren herstellen zu können, muss unbedingt verhindert werden, dass das Injektionsgas in den durch das Mundstück verbundenen Tiegel eintritt und die Schmelze in Kontakt mit Luftsauerstoff tritt. Im Artikel ist die Herstellung eines Demonstratorgussteils mit dem neu entwickelten Verfahren beschrieben.

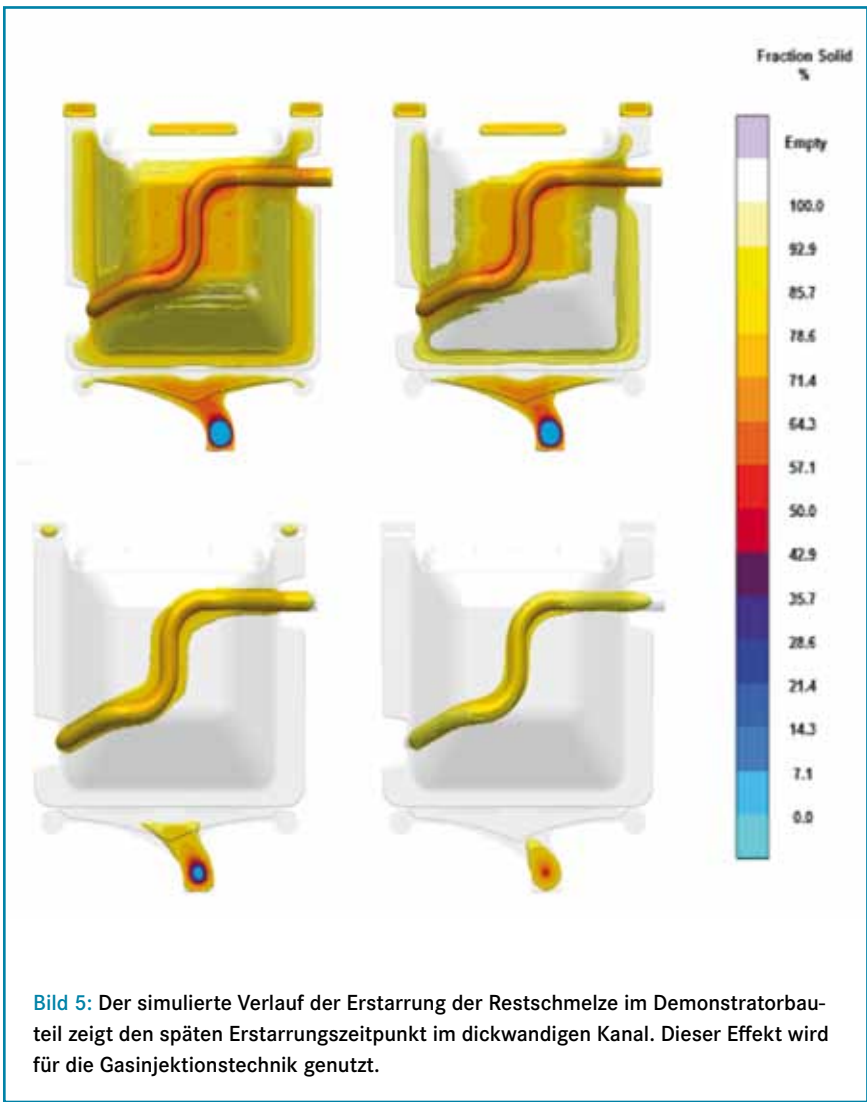
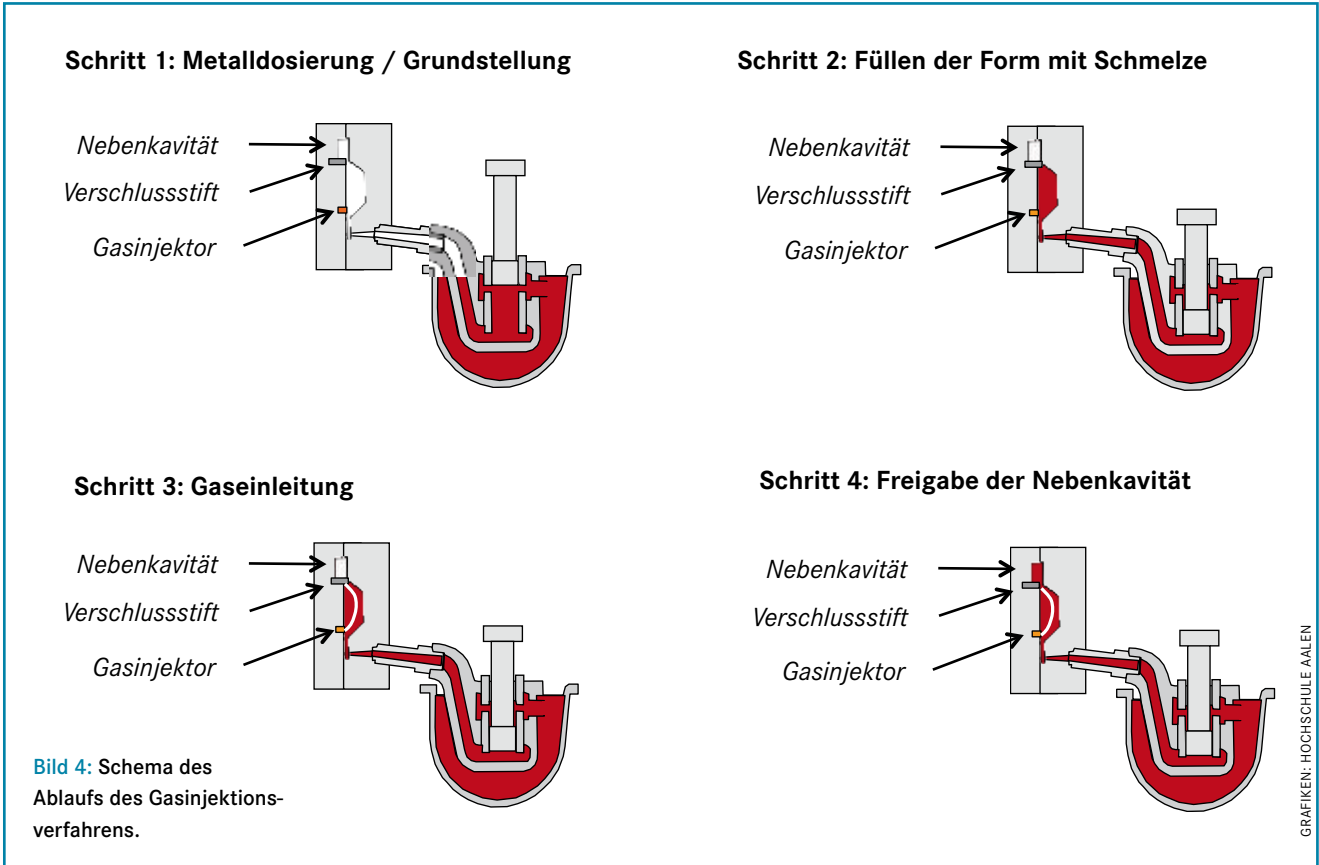


Bild 2:
Salzkern und
Druckgussteil mit
Hohlraum [5].

FOTOS: HOCHSCHULE AALEN



Bild 3: Beispiele für Druckgussteile, die an der Hochschule in Aalen mit Gasinjektion im Kaltkammerverfahren hergestellt wurden.



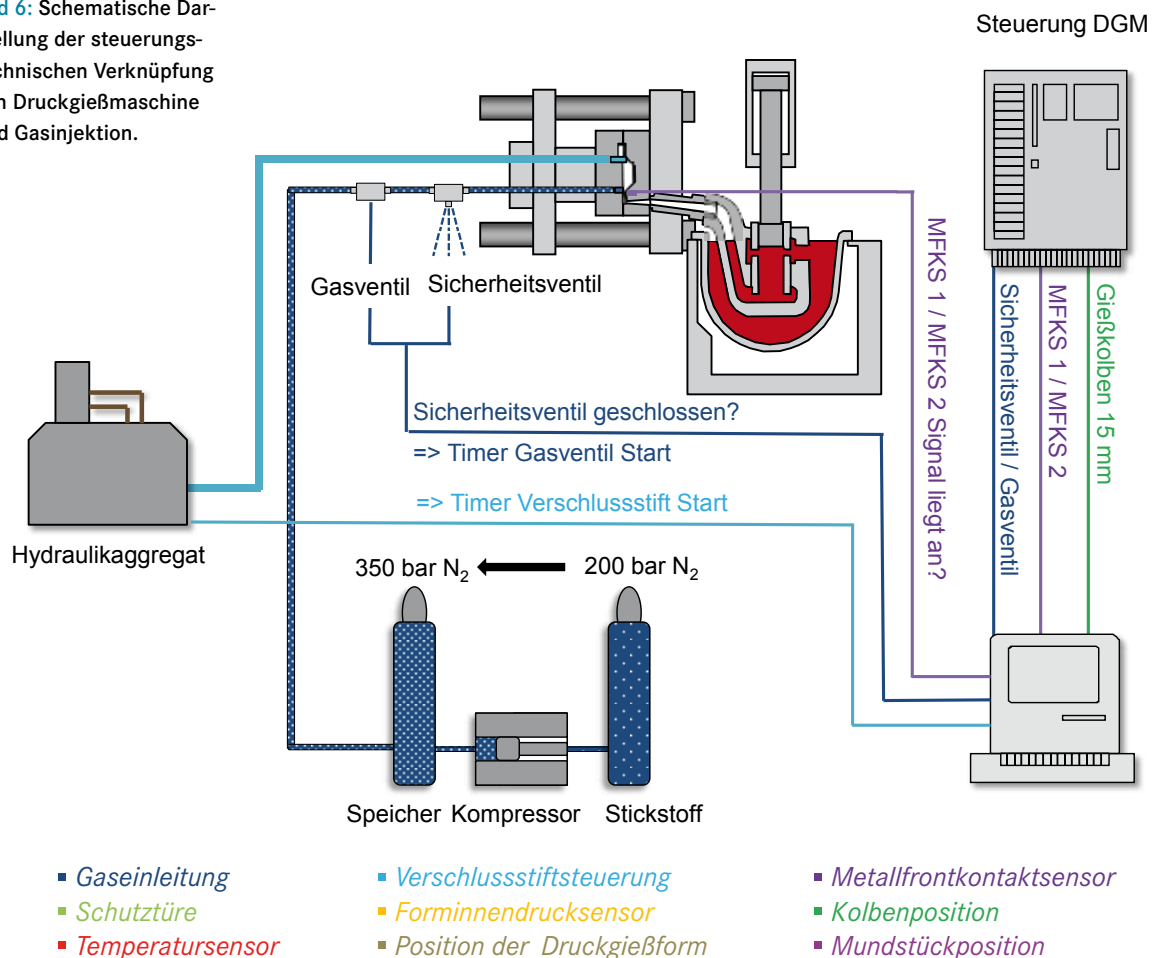
Das Warmkammerverfahren hat gegenüber dem Kaltkammerverfahren beim Druckgießen von Magnesiumlegierungen wesentliche Vorteile:

- > kürzere Taktzeiten,
- > geringerer Schutzgasverbrauch,
- > um 40 °C geringere Schmelzetemperatur,
- > kürzere Fließwege,
- > keine Vorerstarrung in der Gießkammer und
- > geringerer Kreislaufanteil.

Als große Herausforderung galt in diesem Forschungsvorhaben, unter allen Umständen zu vermeiden, dass das Injektionsgas durch das Werkzeug über das Mundstück und die Gießkammer in den mit flüssiger Magnesiumlegierung gefüllten Warmkammerofen eindringt. Dies hätte den Austritt der Schmelze zur Folge, was bei Magnesiumschmelzen aufgrund der hohen Sauerstoffaffinität unbedingt zu vermeiden ist. Gemeinsam mit den Projektpartnern Oskar Frech GmbH + Co. KG, Schorndorf, und der electronics GmbH, Neuhausen, wurden daher eine Steuerungssoftware für die Druckgießmaschine und die Gassteuerungseinheit entwickelt, um genau diesen Austritt zu vermeiden.

Darüber hinaus musste die Gasinjektionseinheit auf extrem kurze Steuerzeiten bei der Gaseinleitung hin weiterentwickelt

Bild 6: Schematische Darstellung der steuerungstechnischen Verknüpfung von Druckgießmaschine und Gasinjektion.



GRAFIK: HOCHSCHULE AALEN

werden, da Magnesium einen erheblich geringeren Wärmehalt als Aluminium aufweist und die Erstarrung noch schneller verläuft.

Um im Rahmen des Forschungsvorhabens eine möglichst anwendungsnahe Geometrie aufzeigen zu können, wurde ein Demonstratorbauteil entworfen, das hinsichtlich seiner Geometrie an ein Strukturbauteil angelehnt ist. Dieses Bauteil weist einen hohlen Kanal zur Erhöhung der Steifigkeit und Rippen auf der Rückseite auf (Bild S. 38). Die Schmelze erstarrt im Kanal vom Rand zum Zentrum hin und bildet in diesem einen flüssigen und teilflüssigen Bereich. Durch die beim Druckgießen schnelle Bildung einer Randschale kann das einströmende Gas in den flüssigen Kanal geführt werden. Die Simulation des Erstarrungsvorgangs zeigt den späten Erstarrungszeitpunkt des Kanals (Bild 5) [5]. Der flüssige Kern kann nun durch das Gas, welches in die Werkzeugkavität eingeleitet wird, in die geöffnete Nebenkavität verdrängt werden. Aufgrund der extrem schnellen Erstarrung sind die Anforderungen der Gasinjektionstechnik an die Steuer- und Regelungstechnik hoch [9], da die Ventilschaltzei-

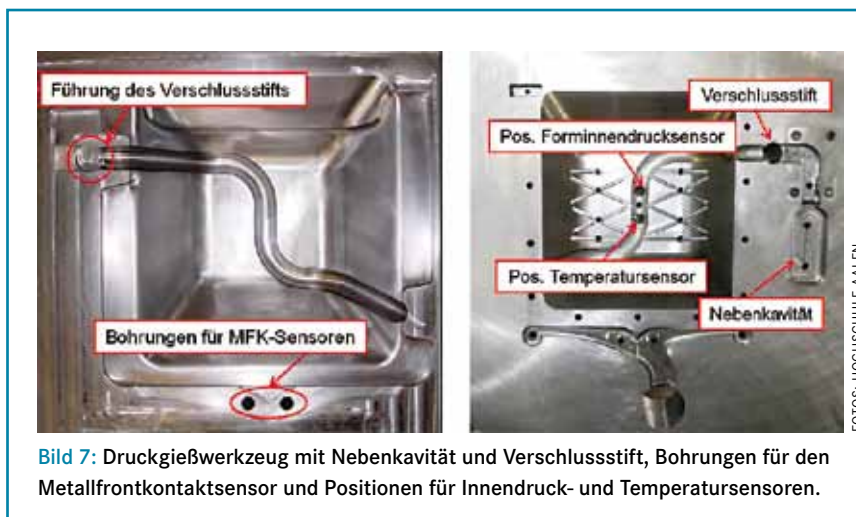


Bild 7: Druckgießwerkzeug mit Nebenkavität und Verschlussstift, Bohrungen für den Metallfrontkontaktsensor und Positionen für Innendruck- und Temperatursensoren.

FOTOS: HOCHSCHULE AALEN

ten auf ein Minimum von wenigen Millisekunden reduziert werden müssen. Darüber hinaus werden an den Gasinjektor hohe Anforderungen gestellt. Während des Formfüllens und der Nachdruckphase darf keine Schmelze in den Injektor gelangen, da dieser sonst verstopfen würde.

Wie eingangs erwähnt, ist der Schmelzofen beim Warmkammerdruck-

gießverfahren über das Mundstück mit der Druckgießform verbunden. Dadurch besteht die Gefahr, dass das einströmende Gas in den Schmelzofen durchbricht. Die Prozesssteuerung der Warmkammerdruckgießmaschine wurde daher mit der Gasinjektionsanlage sowie deren Steuerung verknüpft, um spezielle Sicherheitsvorkehrungen definieren zu können, die ein unkontrolliertes Auslösen des Gasin-

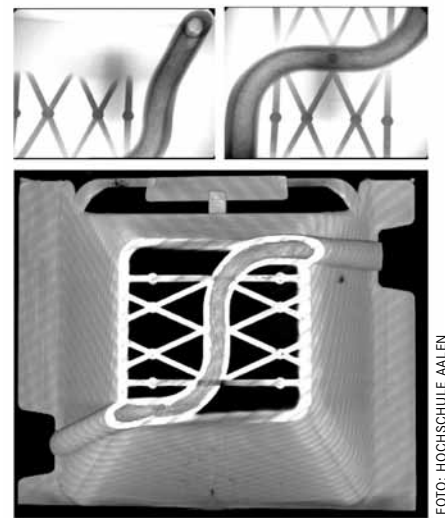
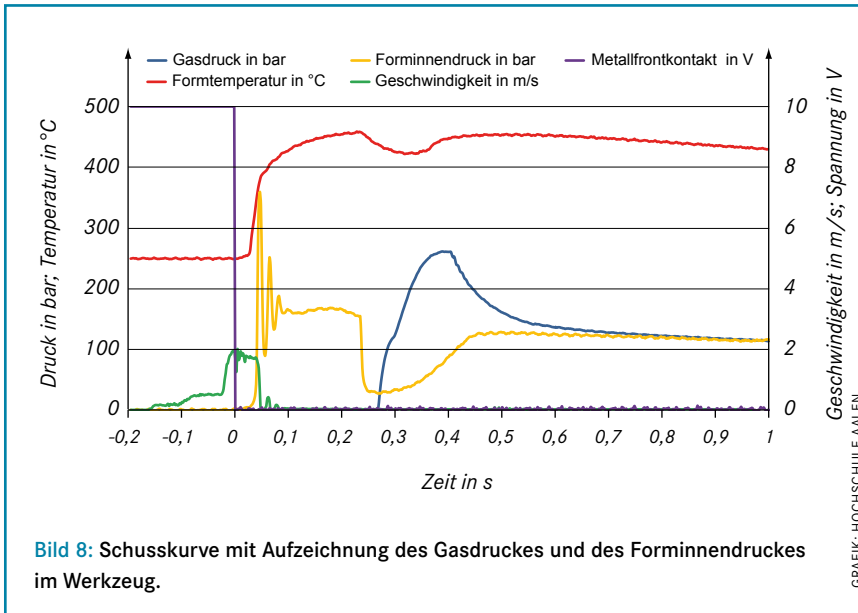
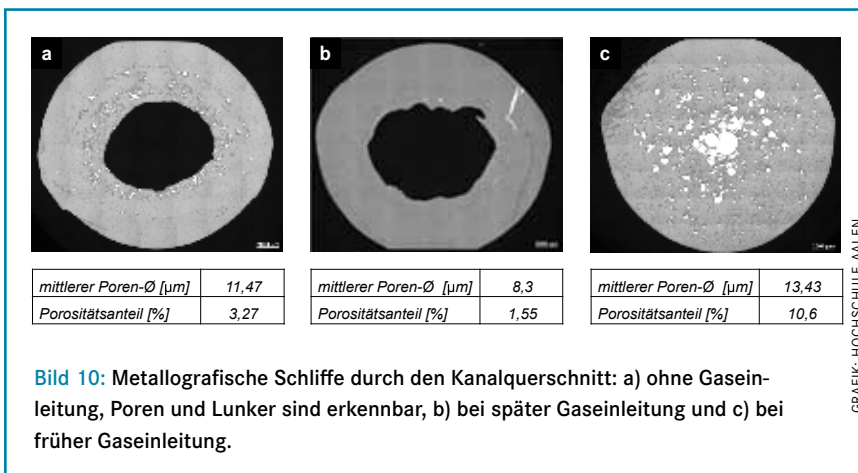


Bild 9: Röntgenbilder oben und 3-D-Computertomographie des Gaskanals im Demonstrator.



jektionsvorganges und ein Austreten des Gases durch die Gießgarnitur in den Tiegel unter allen Umständen verhindern (Bild 6).

Prozesszustände der Druckgießmaschine – wie die Position des Gießkolbens – werden von der Steuerungsanlage der Gasinjektion abgefragt. Um bei einer Fehlfunktion des Gasventils zur Einleitung des Stickstoffs in die Druckgießform ein Austreten des Gases in den Schmelzofen zu verhindern, wurde ein Sicherheitsventil integriert, das den Stickstoff im Zweifelsfall an die Atmosphäre abgibt. Erst unmittelbar vor dem eigentlichen Injektionsprozess wird der Durchfluss des Gases in die Form durch ein Sicherheitsventil freigegeben. Die Steuerung der Druckgießmaschine gibt die Position der Schutztür, des Mundstücks und der Druckgießform an die Gasinjektionsanlage weiter [10]. Durch die Sensoren in der Werkzeugkavität (Bild 7) konnte der Gasinjektionsprozess in der Schusskurve analysiert werden (Bild 8).

Versuchsdurchführung

Die Versuchsdurchführung erfolgte unter Variation verschiedener Prozessparameter auf der Basis der statistischen Versuchsplanung. Dabei wurden der Gasinleitungszeitpunkt, die Freigabezeit der Nebenkavität und die Zeit des Nachdrucks auf verschiedenen Stufen verändert variiert. Mithilfe der 3-D-Computertomografie wurde der Gasinjektionsprozess bewertet (Bild 9).

Die unterschiedlichen Parametereinstellungen zeigen unterschiedliche Ergebnisse in der Auswertung der Porosität im Kanalbereich. Hierzu wurden metallografische Untersuchungen durchgeführt, um den Anteil und die Größe der Poren auszuwerten.

Deutlich ist die sehr große Erstarungsporosität im Zentrum des ohne Gaseinleitung konventionell hergestellten Gussteils (Bild 10a) zu erkennen, die durch den Nachdruck in der dritten Phase nicht kompensiert werden kann. Bei Gaseinleitung (Bild 10b) sind noch ver-

teilte Poren zu erkennen, welche durch eine Optimierung der Prozessparameter reduziert werden konnten (Bild 10c). Der lokale Druck des Gases im Kanal wurde zur Nachverdichtung optimal genutzt. Die Porosität wurde mit einem Anteil von 1,55 % auf ein Minimum reduziert. Die Nachverdichtung durch den Gasdruck ist stark abhängig von den Parametern der Gaseinleitungszeit und der Freigabe der Nebenkavität. Zur Ermittlung des Kanalvolumens wurden die Nebenkavität abgetrennt und der Kanal einseitig verschlossen. Im Anschluss wurde der Kanal vollständig mit einer Flüssigkeit gefüllt. Durch eine Gewichtsmessung vor und nach der Befüllung konnte das Volumen bestimmt werden. Das Kanalvolumen wurde dann als Funktion der Freigabezeit und des Gasinjektionszeitpunkts bestimmt. In Bild 11 ist eine deutliche Wechselwirkung zwischen den beiden Parametern zu erkennen. Aus den kurzen Zeiten ist ersichtlich, dass die neuentwickelte Steuerung in extrem kleinen Zeitintervallen agieren muss, um gleichbleibende Ergebnisse zu erhalten. Darüber hinaus mussten die Ventilschaltzeiten in der Gasinjektionsanlage mit speziellen Coil-Speed-Ventilschaltbeschleunigern optimiert werden, da diese kurzen Zeiten mit konventionellen Ventilen nicht erreichbar waren.

Diskussion

Durch das Forschungsvorhaben konnte nachgewiesen werden, dass die Gasinjektionstechnik im Magnesiumwarmkammerverfahren angewendet werden kann. Im Bereich des Kanals wirkt sich der hohe Gasdruck positiv auf die Nachverdichtung des erstarrenden Magnesiums aus.

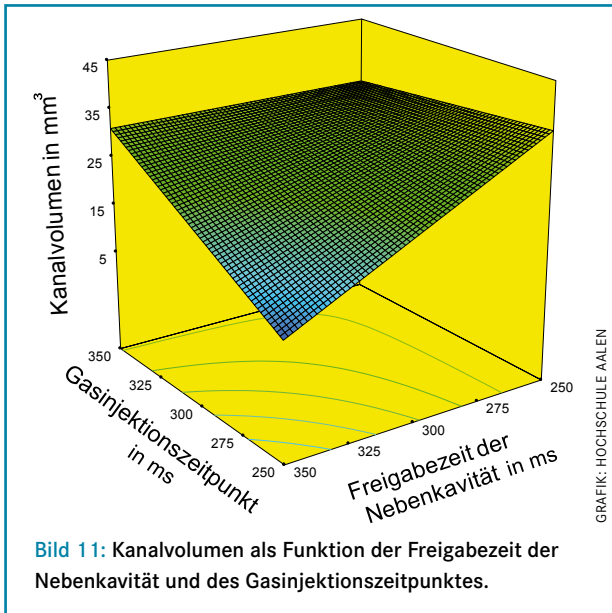


Bild 11: Kanalvolumen als Funktion der Freigabezeit der Nebenkavität und des Gasinjektionszeitpunktes.

Die Demonstratorbauteile konnten mit nahezu seriennahen Ausschussquoten hergestellt werden. Somit kann diese Technologie in Zukunft zur Herstellung günstiger Magnesiumdruckgussteile mit versteifenden Hohlkanälen in Betracht gezogen werden.

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Förderprogramms FHprofUnt 2011 mit dem Förderkennzeichen 17016X11 gefördert und vom Projektträger Jülich, der Forschungszentrum Jülich GmbH, betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Prof. Dr.-Ing. Lothar Kallien, Dipl.-Ing. Thomas Weidler und B.Eng. Marcel Becker, Hochschule Aalen Technik und Wirtschaft, Gießerei Technologie GTA, Aalen

Literatur:

- [1] Wanke, P.: *Innovative Strukturgusskonzepte bei AUDI.* AUDI AG, Vortrag Gießereikolloquium, Hochschule Aalen, Mai 2012, Aalen.
- [2] Loibl, D.: *Neue Ansätze zur Fertigung von Druckgussstrukturbauteilen im Karosseriebau.* BMW AG, Vortrag Gießereikolloquium, Hochschule Aalen, Mai 2012, Aalen.
- [3] Storsberg, L.: *Einsatz von Gussbauteilen im Rohbau als Beitrag zu innovativem Leichtbau am Beispiel des neuen Mercedes SL.* Daimler AG, Vortrag Gießereikolloquium, Hochschule Aalen, Mai 2012, Aalen.
- [4] *Giesserei 96 (2009), [Nr. 7], S. 100-108.*
- [5] *Giesserei 100 (2013), [Nr. 12], S. 36-43.*
- [6] *Kunststoffe (2004), [Nr. 9], S. 203-207.*
- [7] *Giesserei 93 (2006), [Nr. 11], S. 20-29.*
- [8] Kallien, L.: *Funktionale Hohlräume im Druckguss – Ergebnisse aus dem 3D-Freiform-Forschungsvorhaben.* Internationaler Deutscher Druckgusstag, 17-19. Januar 2012, Nürnberg.
- [9] Kallien, L.; Weidler, T.; Böhnlein, C.: *New developments in gas injection for high pressure die casting.* North American Die Casting Association – Metalcasting Congress, 7.-10. April 2009, Las Vegas, NV, USA.
- [10] Becker, M.: *Gasinjektionstechnik im Magnesiumwärmekammerverfahren.* Gießereitechnologie Aalen, Vortrag Gießereikolloquium, Hochschule Aalen, Mai 2013, Aalen.

Kurtz Gießereimaschinen

Lösungen für die erfolgreichsten Unternehmen.



ND-Gießmaschine mit Shuttle Ofen



4 Säulen Entgratpresse mit Schiebe-Kipptisch

Unabhängig davon, um welche Belange es in Zusammenhang mit Gusslösungen bei Ihnen geht – bei Kurtz sind Sie immer richtig!

Unsere Ingenieure entwickeln in kürzester Zeit die passende Lösung. Von einer einzelnen Maschine bis hin zu einer kompletten Fabrik – für nahezu alle Anwendungen in unserer Branche haben wir das richtige Produkt.

Sprechen Sie uns an, wir realisieren all Ihre Wünsche gemäß unserer Vision.

Portfolio Kurtz-Gießereimaschinen

- Niederdruckgießmaschinen
- Kippgießmaschinen
- Schwerkraftgießmaschinen
- Entgratpressen
- Bearbeitungsmaschinen
- Automatisierungskomponenten
- Engineering
- Gesamtanlagen

Mehr Informationen unter: www.kurtz.de