

MAGIT*: Gasinjektionstechnologie auf dem Weg in die industrielle Anwendung im Druckguss

Ziel der Forschungsarbeit ist die Übertragung des Gasinjektionsverfahrens, welches beim Kunststoffspritzgießen bereits angewandt wird, auf den Seriendruckgießprozess mit metallischen Schmelzen. Mit der Gasinjektionstechnologie ist es möglich, Hohlräume im Druckgießverfahren herzustellen. Besonders für Aluminiumschmelzen soll dieses Verfahren weiterentwickelt und in einer industriellen Fertigungsumgebung dargestellt werden [1, 2, 3].

Lothar Kallien und Wolfgang Kuchar, Aalen, Marcel Op de Laak, Teningen, und Michael Haas, Mühlhausen i. T.

1 Einleitung

Durch die stetig steigenden Anforderungen an Gusserzeugnisse sowie die gleichzeitige Reduktion von Taktzeiten und Produktionskosten stellt die Gasinjektionstechnologie ein Sonderverfahren mit großem Potenzial dar. Es bietet die Möglichkeit, ohne vor- und nachgelagerte Prozesse einen Hohlraum in Gussteilen zu erzeugen, was durch die Verwendung verlorener Kerne nicht möglich ist. Des Weiteren bietet die Gasinjektionstechnologie den Vorteil der Reduktion von Einfallstellen und Verzug. Außerdem verschafft diese Technologie größere und neue Gestaltungsspielräume bei der Konstruktion dickwandiger, hohler Bauteile mit gleichzeitig kurzen Zykluszeiten [4].

Eine große Herausforderung stellt beim Gasinjektionsprozess die Entwicklung geeigneter Gasinjektoren mit ausreichender Standzeit dar [5, 6]. Für den Gasinjektionsprozess wurde als Demonstratorwerkzeug ein Kühlgehäuse für Leistungselektronik ausgewählt (**Bild 1**). Ein durch Gasinjektion hergestellter mäanderförmiger Kanal ist die Leitung für ein Kühlmedium.

Innerhalb des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Forschungsprojekts zur Entwicklung der Gasinjektionstechnologie für Aluminiumdruckgießanwendungen im „Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand“ wird ein Gasinjektionssystem entwickelt, welches den Anforderungen



FOTOS: WIRD NOCH ERGÄNZT

Bild 1: Demonstratorbauteil für die Anwendung des Gasinjektionsprozesses in Form eines Kühlgehäuses für Leistungselektronik: Rückansicht mit Kühlkanal (links); Vorderansicht (Mitte); Röntgenbild (rechts) [7].

* MAGIT: Magnesium and Aluminium Gas Injection Technology

eines industriellen Fertigungsprozesses genügt. In dieser Veröffentlichung werden die wesentlichen neuen Entwicklungen hinsichtlich der Gasinjektionstechnologie im Druckgießverfahren sowie Versuchsergebnisse des getesteten Systems dargestellt. Die Entwicklung des Gesamtsystems erfolgt in Zusammenarbeit mit der TIK – Technologie in Kunststoff GmbH, sowie der Haas Metallguss GmbH. Das neue Gasinjektionssystem für das Druckgießen wird nach Erprobung an der Hochschule Aalen im Rahmen des Projekts erstmals in einer industriellen Fertigungsumgebung bei der Haas Metallguss GmbH verwendet werden.

2 Das Gasinjektionssystem

Um für den Gasinjektionsprozess mit metallischen Schmelzen einen reproduzierbaren Prozess und eine für die industrielle Anwendung geeignete Anlage zu entwickeln, wurden Spezifikationen für diese Anlage definiert [8, 9]:

- Reaktionszeit des Systems von maximal 5 ms,
- Bereitstellung des Prozessgases direkt am Injektor,
- hydraulische Betätigung des Gasinjektors,
- hohe Standzeit der Gasinjektionskomponenten wie Gasinjektor und Sperrschieber,
- Erfüllung von Sicherheitskriterien zum Einsatz der Technologie in einer industriellen Fertigungsumgebung,
- Gasinjektionsanlage als Ergänzungsmodul für Druckgießmaschinen.

Das entwickelte Gasinjektionssystem ist aus vier wesentlichen Bestandteilen aufgebaut (**Bild 2**), welche miteinander vernetzt sind. Der zentrale Bestandteil ist ein Verdichtermodul, welches das Herzstück der Anlage bildet und alle Komponenten zur Steuerung, Gasdruckbereitstellung und Hydraulikdruckbereitstellung enthält. Das Speichermodul wird direkt neben der Gießform bereitgestellt, um kurze Wege zur Druckgießform zu ermöglichen. Das Werkzeugmodul, welches an der Seite der beweglichen Formhälfte des Druckgießwerkzeugs montiert ist, übernimmt die Gasversorgung, die Hydraulik und die Kühlwasserleitung. Gemäß der Spezifikation des neuen Gasinjektionssystems können das Verdichtermodul sowie das Speicher- und das Werkzeugmodul an einer herkömmlichen Druckgießmaschine ohne Umbau montiert werden (**Bild 3**). Für die Betätigung des Injektors und die Bereitstellung des Prozessgases direkt am Injektor wurde ein Injektionsmodul entwickelt, das direkt hinter dem Injektor in der Druckgießform befestigt wird (**Bild 4**). Die notwendigen Formsensoren sowie zwei induktive Näherungssensoren werden über entsprechende Ladungsverstärker, die im Speichermodul befestigt sind, an die SPS-Steuerung weitergeleitet. Elementar für den Ablauf des Gasinjektionsprozesses sind zwei Metallfrontkontaktsensoren (MFKS) im Anschnittbereich der Druckgießform. Anhand des Signals wird der Gasinjektionsprozess innerhalb der voreingestellten Verzögerungszeit gestartet. Die weiteren Formsensoren dienen der Überwachung und Auswertung des erfolgten Gasinjektionsprozesses und sind ebenfalls in der festen Formhälfte verbaut (**Bild 5**). Die Steuerung und Prozessüberwachung der Gasinjektion sowie die Parametereingabe für den Gasinjektionsvorgang erfolgt über einen Tablet-PC, der dem Bediener erlaubt, anhand des integ-

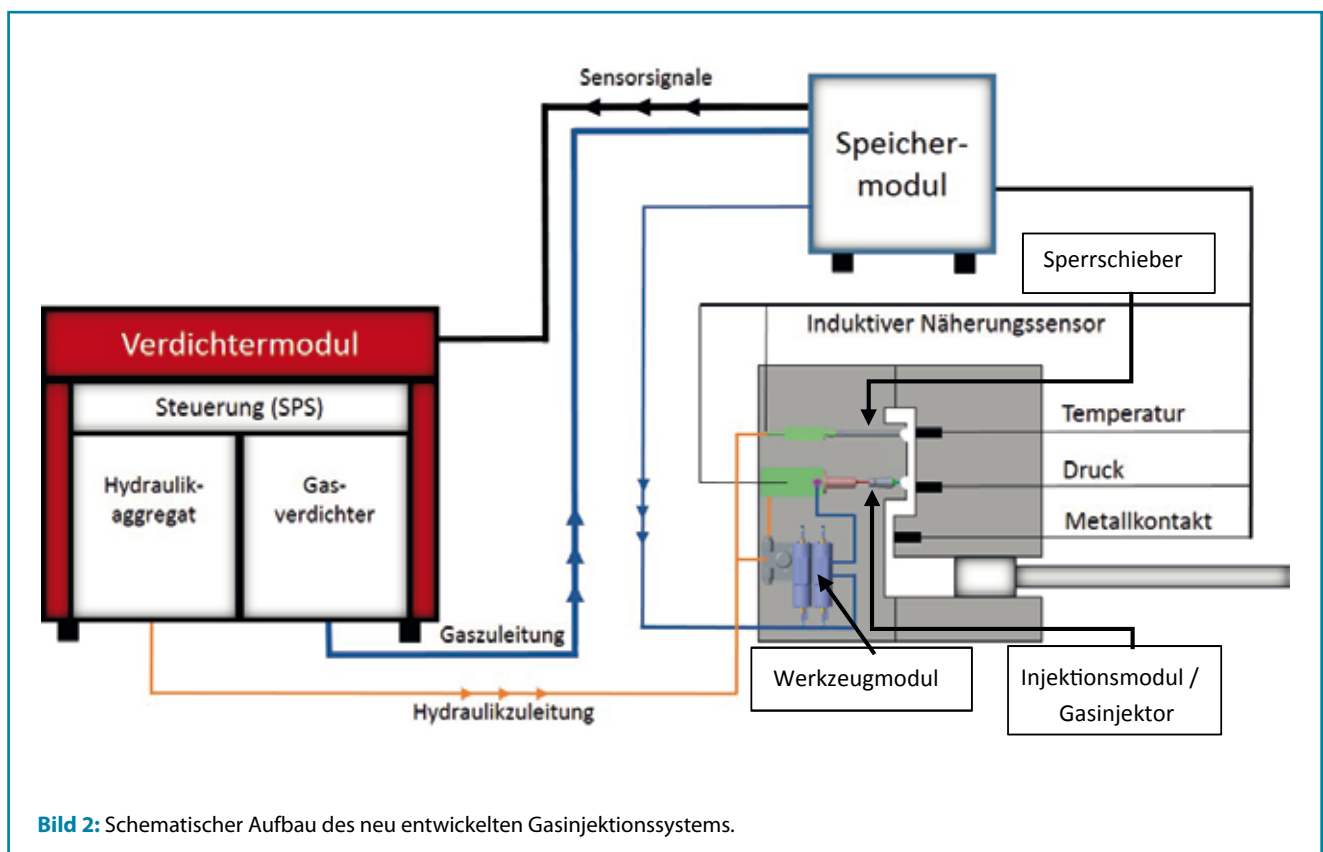


Bild 2: Schematischer Aufbau des neu entwickelten Gasinjektionssystems.



Verdichtermodul



Werkzeugmodul

Speichermodul

Bild 3: Realer Aufbau des neuen Gasinjektionssystems mit Verdichtermodul, Speichermodul und Werkzeugmodul an einer Kaltkammerdruckgießmaschine..

rierten Messsystems den erfolgten Gasinjektionsprozess in Echtzeit zu beurteilen (**Bild 6**).

3 Versuchsergebnisse

In den durchgeführten Versuchsreihen mit dem neuen Gasinjektionssystem an der Kaltkammerdruckgießmaschine GDK750 des Gießereilabors der Hochschule Aalen lag der Fokus auf der Erprobung des Gesamtsystems sowie der Eignungsprüfung verschiedener im Vorfeld ausgewählter Sondermaterialien für die mit Schmelze in Kontakt tretenden Gasinjektorkomponenten (**Bild 7**). Diese Materialien sollten eine hohe Standzeit und die korrekte Funktion des Gasinjektors ermöglichen. Hierbei konnten zwei Werkstoffe identifiziert werden, die dem Druckgießprozess mit Aluminiumschmelzen standhielten. Mit einem keramischen Werkstoff konnten Stückzahlen im Bereich einer Kleinserie erreicht werden, ehe der Injektor aufgrund der Gießkräfte zerbrach. Bis zu diesem Versagensgrund konnte am Injektor kein zersetzender Angriff des Aluminiums festgestellt werden, welcher die Funktion des Gasinjektors eingeschränkt hätte. Mit dem zweiten Sonderwerkstoff in Form von beschichtetem Stahl konnten weitaus höhere Stückzahlen generiert werden, ohne ein Versagen des Injektors feststellen zu können. Entsprechende für die Gasinjektion typische Schusskurven zeigt **Bild 8**.

Anhand der Schusskurve kann analysiert werden, ob der Gasinjektionsprozess einen hohlgeblasenen Kanal erzeugte. Indizien sind die Signale der induktiven Näherungssensoren, die am Injektor und am Sperrschieber verbaut sind. Die Bewegung muss hier ein schnelles und kontinuierliches Öffnen auf 100 % am Injektor bzw. 0 % am Sperrschieber (wie in der abgebildeten Schusskurve (**Bild 8**)) aufzeigen. Ein weiteres Anzeichen für einen erfolgreichen Gasinjektionsprozess sind die Kurvenverläufe der Formsensoren für Formtemperatur und Forminnendruck. Im Diagramm ist zu erkennen, dass der Forminnendruck sowie die Formtemperatur nach der Freigabe der Nebenkavität durch Ziehen des Sperrschiebers schlagartig abfallen

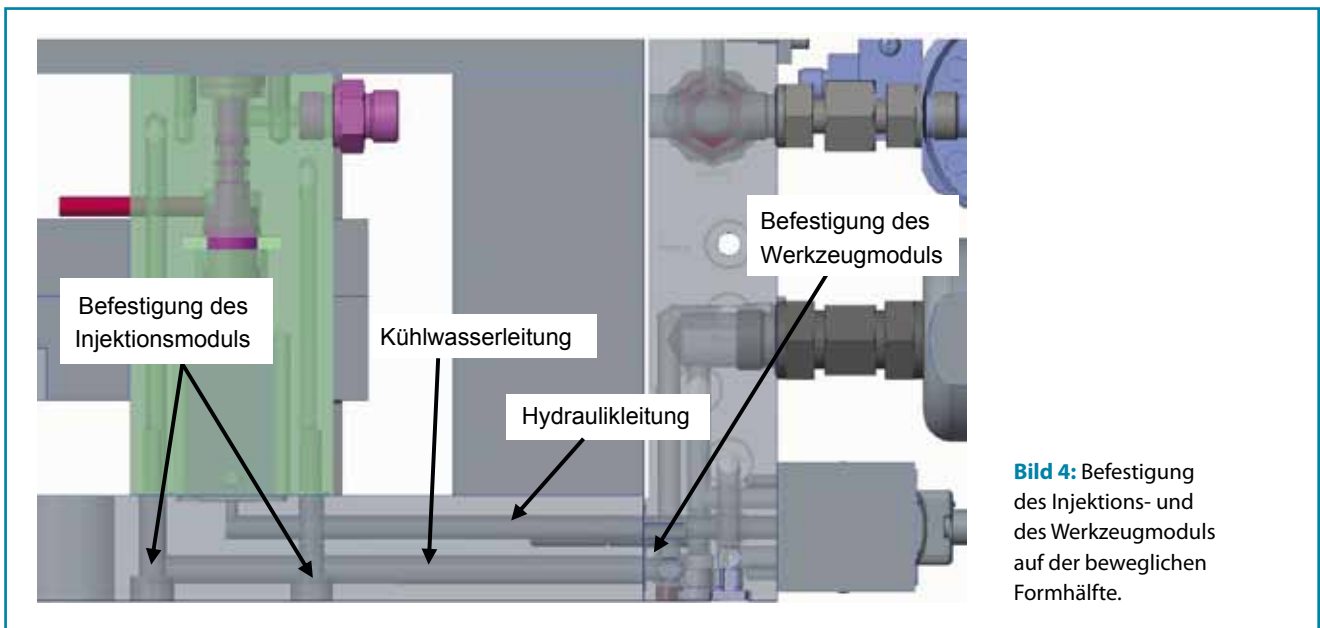


Bild 4: Befestigung des Injektions- und des Werkzeugmoduls auf der beweglichen Formhälfte.

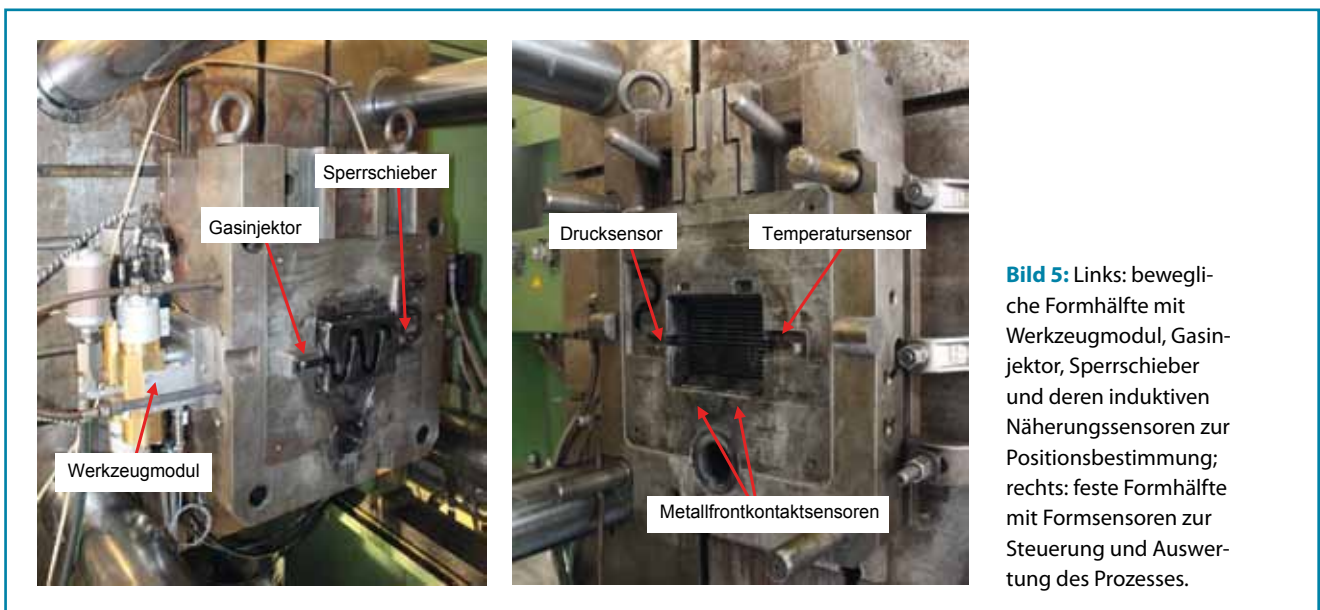


Bild 5: Links: bewegliche Formhälfte mit Werkzeugmodul, Gasinjektor, Sperrschieber und deren induktiven Näherungssensoren zur Positionsbestimmung; rechts: feste Formhälfte mit Formsensoren zur Steuerung und Auswertung des Prozesses.

und anschließend wieder ansteigen. Durch Entweichen des restflüssigen Metalls beim Öffnen der Nebenkavität schrumpft das Gussteil zunächst von der Werkzeugoberfläche ab, bevor es durch den Anstieg des Gasdrucks im Inneren des Bauteils wieder an die Formwand gedrückt wird. Besteht keine flüssige Verbindung zwischen Gießkolben und Nebenkavität, wird diese nicht vom Gießkolben gefüllt und der Gasinjektionsprozess ist erfolgt.

4 Reproduzierbarkeit

Die für eine Serienanwendung notwendige Reproduzierbarkeit des Prozesses war aufgrund des sehr engen zur Verfügung stehenden Prozessfensters mit Gasinjektionsanlagen aus vorangegangenen Projekten nicht gegeben [10]. Eines der wichtigsten zu erreichenden Kriterien ist die reproduzierbare Ansteuerung

des Gasinjektors sowie dessen korrekte Öffnung. Die Reaktionszeit des Systems wird in **Bild 9** in Abhängigkeit vom eingegebenen Sollwert für die Verzögerungszeit der Komponenten Injektor und Sperrschieber angegeben. Somit stellt der abgebildete Wert die Abweichung vom Sollwert dar. Äquivalent zu der Abweichung der Ansteuerung des Gasinjektors ist die reproduzierbare Freigabe der Nebenkavität ein wichtiges Kriterium für den Prozess. Aufgrund der hohen Anzahl an Ausreißern wurde lediglich eine Standardabweichung von 5 ms erreicht. Weshalb die Ausreißer in diesem Umfang aufgetreten sind, wurde aus den entsprechenden Schusskurven nicht ersichtlich. Ob hier Fehler in der Messwerterfassung vorlagen oder dies die tatsächlich zu erwartenden Werte sind, muss in weiteren Versuchen festgestellt werden.

Im Vergleich zur Abweichung vom Sollwert des Gasinjektors fällt auf, dass der Mittelwert des Sperrschiebers um fast 3 ms

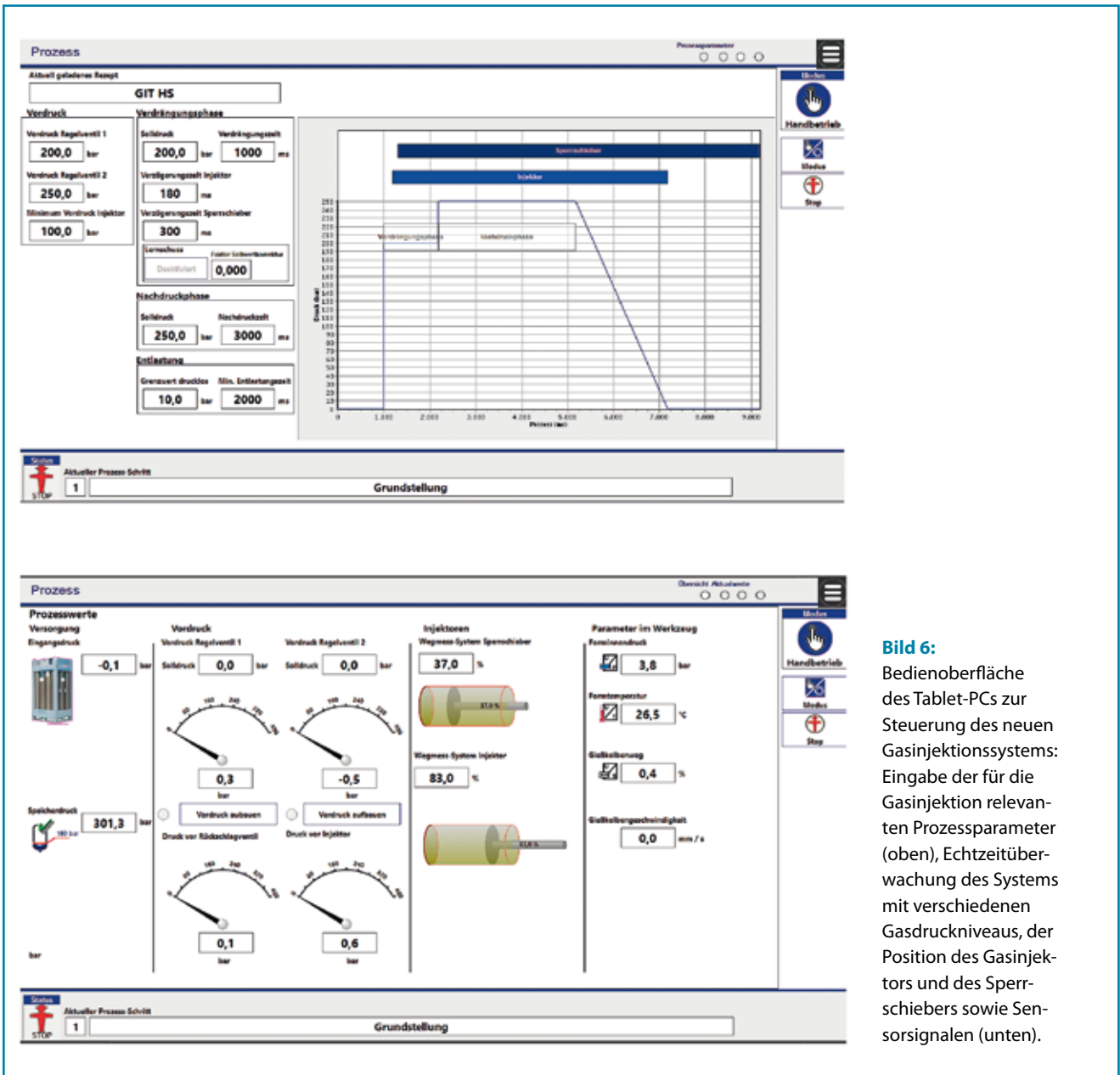


Bild 6: Bedienoberfläche des Tablet-PCs zur Steuerung des neuen Gasinjektionssystems: Eingabe der für die Gasinjektion relevanten Prozessparameter (oben), Echtzeitüberwachung des Systems mit verschiedenen Gasdruckniveaus, der Position des Gasinjektors und des Sperrschiebers sowie Sensorsignalen (unten).

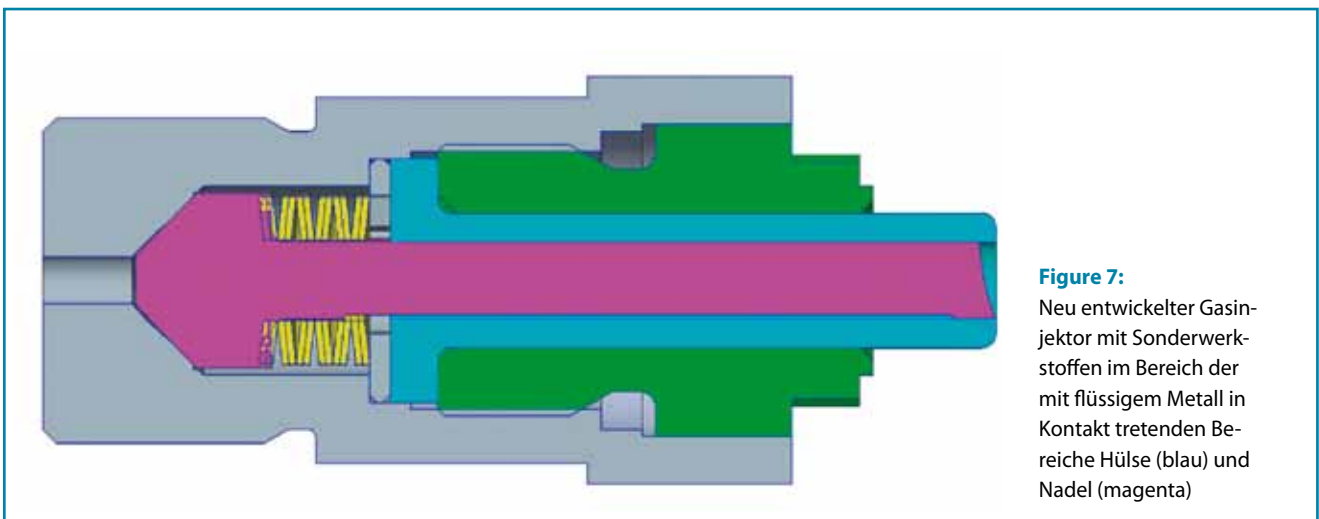


Figure 7: Neu entwickelter Gasinjektor mit Sonderwerkstoffen im Bereich der mit flüssigem Metall in Kontakt tretenden Bereiche Hülse (blau) und Nadel (magenta)

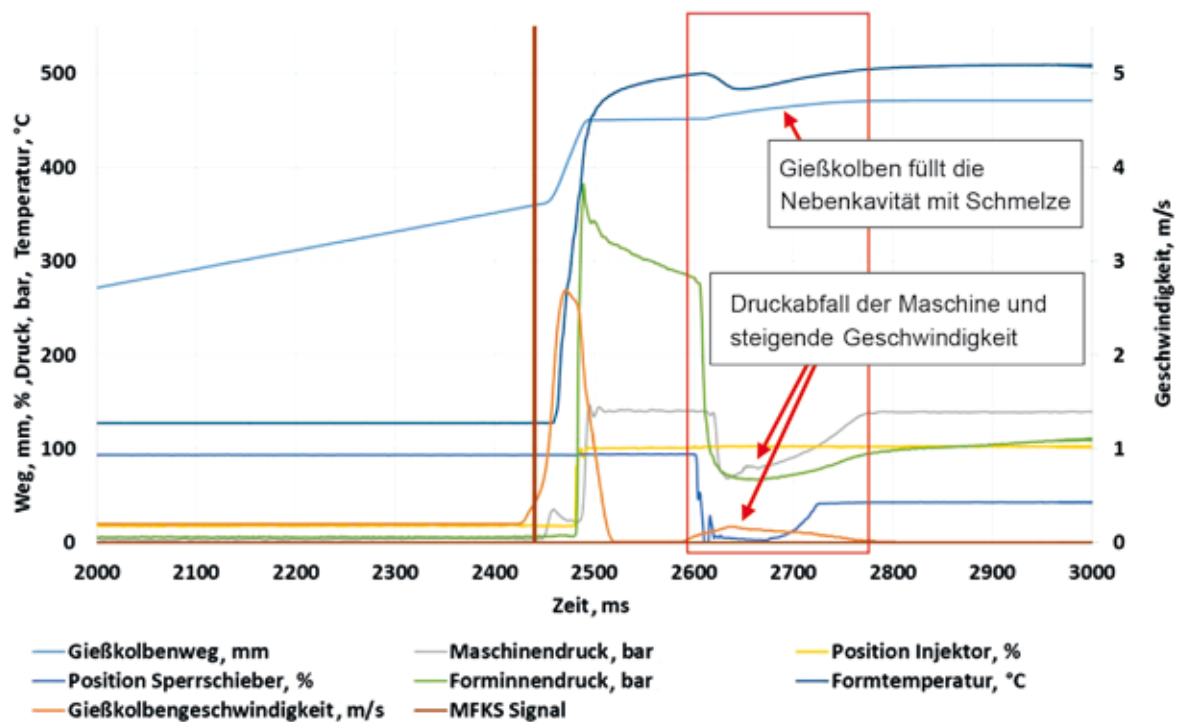
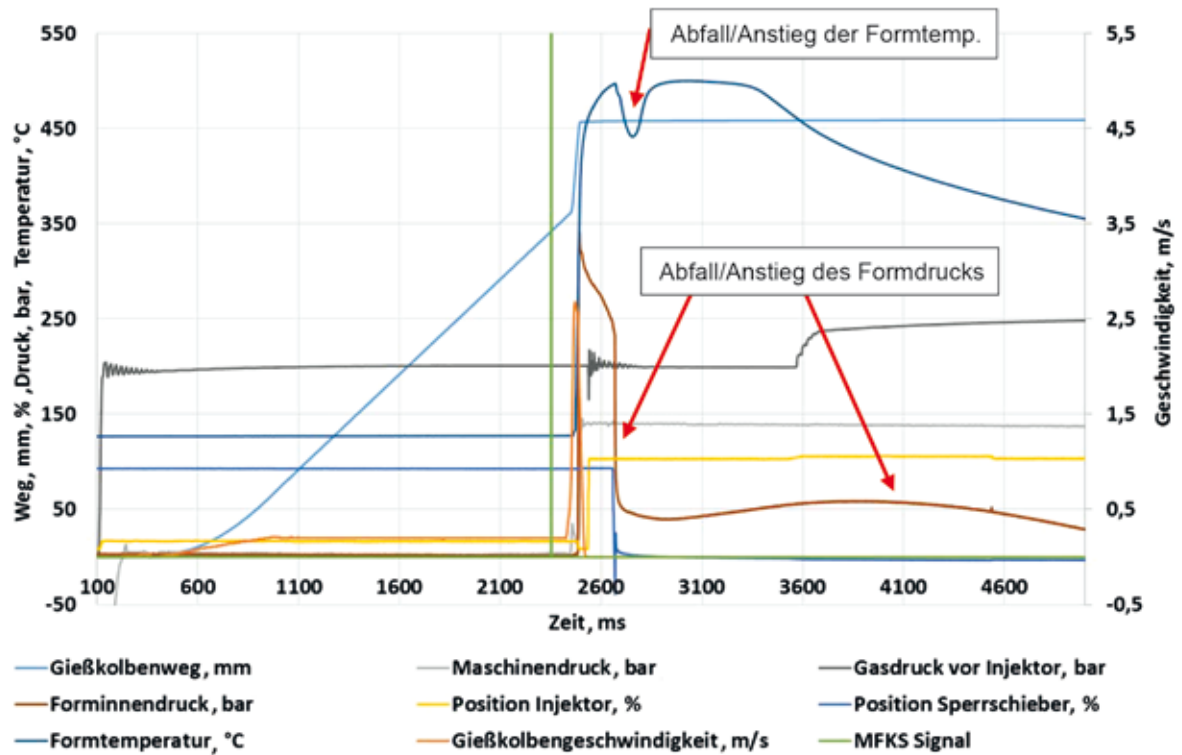
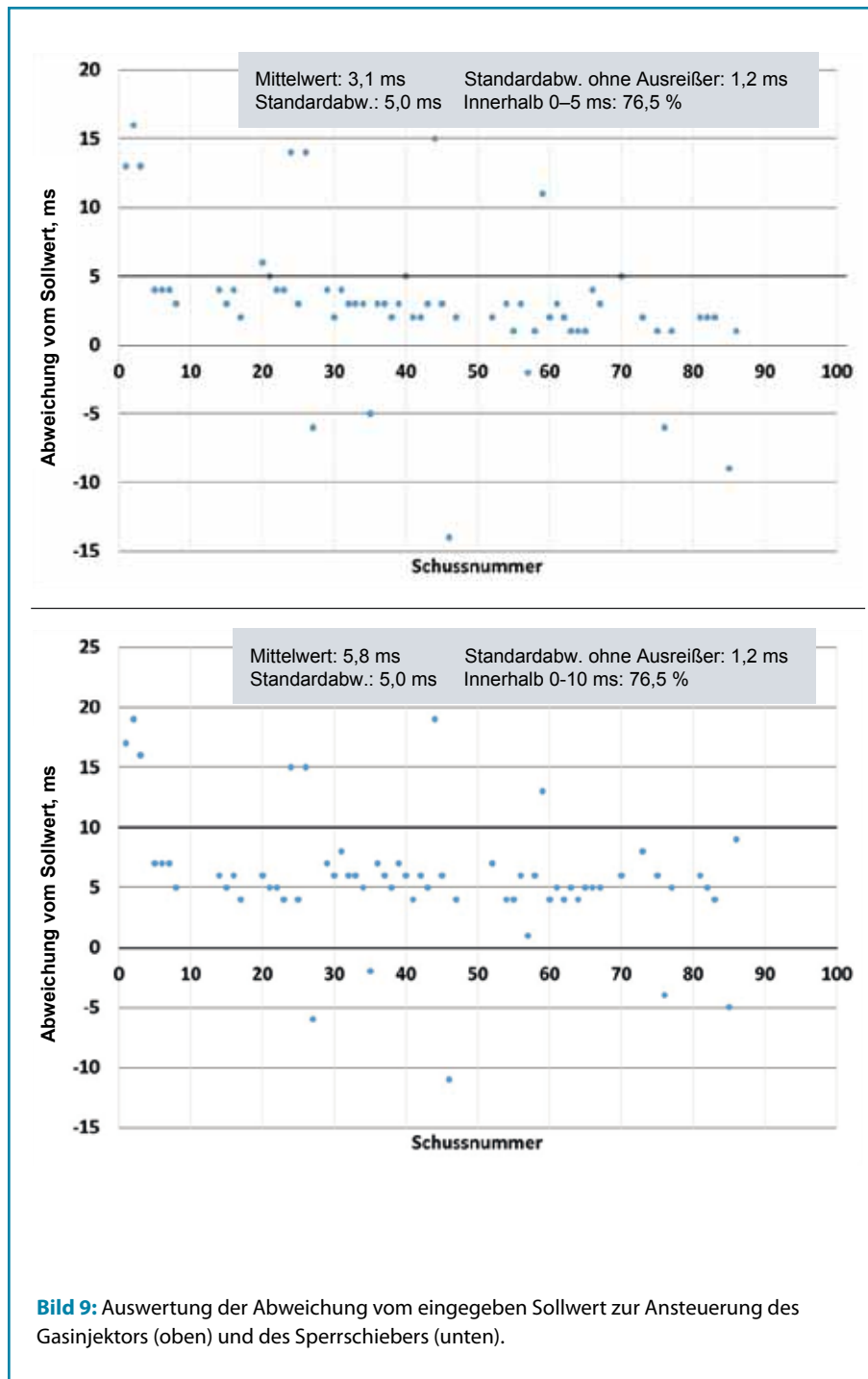


Figure 8: Oben: Schusskurve eines erfolgreichen Gasinjektionsprozesses mit den für die Gasinjektion relevanten Parametern zur Auswertung des durchgeführten Prozesses; unten: Abfallender Maschinendruck (grau) sowie ansteigende Gießkolbengeschwindigkeit (orange) und ansteigender Gießkolbenweg (hellblau) bei Öffnung des Sperrschiebers bedeuten ein Füllen der Nebenkavitat durch den Gießkolben.



5 Diskussion

Für die Gasinjektionstechnologie im Aluminiumdruckgießverfahren wird mit Hilfe des Industriepartners ein wesentlicher Schritt in Richtung Serienreife getan. Besonders die Weiterentwicklungen des Gasinjektors hinsichtlich der Standzeit sind vielversprechend. Die Gasinjektionsanlage liefert für den Einsatz im Aluminiumdruckgießverfahren die notwendige Reproduzierbarkeit, besonders in Bezug auf die Schaltzeiten. Mit dieser Anlage wird im weiteren Verlauf des Vorhabens ein Werkzeug hergestellt, mit welchem bei der Haas Metallguss GmbH eine erste Anwendung im Druckgießprozess außerhalb von Laborbedingungen dargestellt werden wird.

Dieses Forschungs- und Entwicklungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen des „Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand“ mit dem Förderkennzeichen ZF 4113803 KO6 gefördert und vom Projektträger AiF Projekt GmbH betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.



höher liegt als beim Gasinjektor. Dies ist dadurch zu erklären, dass bei der Ansteuerung des Sperrschiebers ein größeres Hydraulikölvolume in Gang gesetzt werden muss, bis sich eine Bewegung des Sperrschiebers einstellt. Interessant ist beim Vergleich die Betrachtung der Ausreißer. Es handelt sich hierbei um exakt dieselben Schüsse, bei denen diese aufgetreten sind. Dies zeigt sich auch beim Vergleich der Standardabweichungen und der Anzahl der Zyklen innerhalb von 10 ms. Welcher Effekt im Prozessablauf dem zu Grunde liegt, kann bislang nicht erklärt werden. Es liegt aber nahe, dass bei der Erfassung der Messwerte ein systematischer Fehler aufgetreten ist.

Prof. Dr.-Ing. Lothar Kallien und B.Eng. Wolfgang Kuchar, Gießereitechnologie, Hochschule Aalen, Dipl.-Ing. Marcel Op de Laak, TIK – Technologie in Kunststoff GmbH, Teningen, Dr.-Ing. Michael Haas, Haas Metallguss GmbH, Mühlhausen i. T.

Literature

- [1] Giesserei 101 (2014), [Nr. 12], S. 40-45.
- [2] Kallien, L.; Becker, M.; Weidler, T.: Production of magnesium die castings with hollow structures using gas injection technology in the hot chamber die casting process. Paper, North American Die Casting Association, Die Casting Congress and Exposition, 05.-07. Oktober 2015, Indianapolis, USA.

- [3] Kallien, L.; Kuchar, W.: *Entwicklung der Gasinjektionstechnologie für Aluminiumdruckgießanwendungen. Projektantrag, 2015.*
- [4] Michaeli, W.; Johannaber, F.: *Handbuch Spritzgießen. Carl Hanser Verlag, 2004. S. 436-450.*
- [5] *Giesserei 93 (2006), [Nr. 11], S. 20-29.*
- [6] Kallien, L.; Weidler, T.; Hermann, C.; Stieler, U.: *Pressure die casting with functional cavities produced by gas injection. International Foundry Research/Gießereiforschung 58 (2006), [Nr. 4], S. 2-9.*
- [7] Böhnlein, C.: *Darstellung 3-dimensionaler, funktionaler Hohlstrukturen im Druckguss durch Gasinjektion. Dissertation, TU Clausthal, August 2012. S. 114.*
- [8] Kallien, L.; Kuchar, W.; Op de Laak, M.; Haas, M.: *Entwicklung der Gasinjektionstechnologie für Aluminiumdruckgießanwendungen. Zwischenbericht, Februar 2017.*
- [9] Kuchar, W.: *Gasinjektion im Druckguss – der Weg in die industrielle Anwendung. Vortrag Gießerei Kolloquium, Hochschule Aalen, Mai 2017.*
- [10] *Giesserei 100 (2013), [Nr. 12], S. 36-43.*