

Gas-Injektions-Technologie für den Druckgießprozess

Die Gasinjektion ermöglicht die Herstellung komplexer Hohlstrukturen im Inneren von Druckgussteilen. Während der Erstarrung wird ein Prozessgas so in das Gussteil eingeleitet, dass die Restschmelze in eine Nebenkavität verdrängt wird und somit eine vordefinierte Hohlstruktur erzeugt.

Lothar Kallien, Florian Mäuser, Thomas Weidler, Aalen und Marcel Op de Laak, Teningen

1 Einleitung

Komplexe und hohle Leichtbaukomponenten zur Gewichtsreduzierung sowie Bauteile mit einem medienführenden Kanal, beispielsweise für das Thermomanagement eines Elektromotors, gewinnen durch die zunehmende Elektrifizierung des Straßenverkehrs und die Ziele der europäischen Umweltpolitik stetig an Bedeutung. Durch die bisherigen Forschungserkenntnisse bei der Übertragung der aus dem Kunststoffspritzgießen angewendeten Gasinjektionstechnologie auf das Druckgießen wurde bereits erfolgreich ein großes Anwendungsfeld für dieses innovative Verfahren aufgezeigt [1 - 6]. Im Rahmen des im März 2020 gestarteten Projektvorhabens MAGIT (Magnesium und Aluminium Gas-Injektions-Technologie) stehen weniger einzelne Forschungsaktivitäten im Labormaßstab im Vordergrund, sondern es soll vor allem der Gasinjektionsprozess für das industrielle Gießereiumfeld weiterentwickelt werden.

2 Grundlagen des Gasinjektionsprozesses

Durch die verfahrensbedingten Grenzen des Druckgießverfahrens wird die Geometriefreiheit der Gussteilkonstruktion eingeschränkt. Der Einsatz von Schiebern beziehungsweise Kernzügen ermöglicht eine nur begrenzte Abbildung von Hinterschnitten. Die aus dem Kunststoffspritzgießen bekannte Gasinjektionstechnologie wurde in Aalen bereits erfolgreich zur Herstellung funktionaler Hohlstrukturen im Druckgießen umgesetzt. Dabei erfolgen die Schmelzedosierung sowie die Formfüllung im Gasinjektionsprozess wie im konventionellen Druckgießverfahren (**Bild 1**).

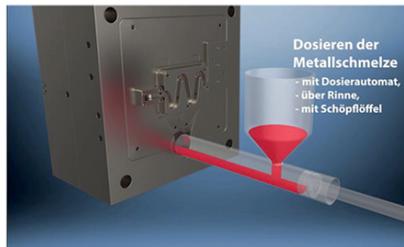
Während der Erstarrung des Gussteils im Druckgießwerkzeug wird Stickstoff über einen Gasinjektor, der die Gussteilrandschale durchdringt, in das Gussteil eingeleitet. Dabei wird die noch flüssige Restschmelze in eine Nebenkavität verdrängt, die durch den Sperrschieber geöffnet wird. Dadurch wird ein definierter Hohlkanal im Gussteil erzeugt. Nach dem Ausformen des Gussteils lässt sich das in die Nebenkavität verdrängte Gießmetall wirtschaftlich entfernen.

Allgemein ergeben sich durch die Gasinjektion neue Möglichkeiten für das Produktdesign medienführender Bauteile. Wie in den **Bildern 2** und **3** dargestellt, sind medienführende Kanäle im Druckgießprozess ohne verlorene Kerne realisierbar.

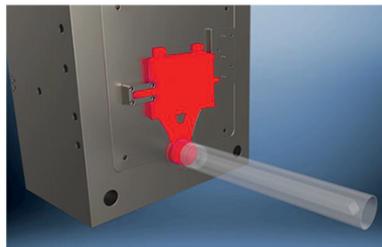
Dadurch entfallen auch kostenintensive Zusatzprozesse der Gussteilnachbearbeitung. Weiterhin wird das Leckagerisiko durch die Verringerung der abzudichtenden Fügstellen reduziert, was besonders bei Elektronikkomponenten einen erheblichen Mehrwert in Bezug auf den Sicherheitsaspekt darstellt. Der mäanderförmige Hohlkanal mit einer Länge von circa 45 cm dient dem Temperaturmanagement eines Leistungselektronikgehäuses (vgl. **Bild 2**). Auf der Außenseite des Gehäuses sind Rippen am Gussteil angebracht, um die wärmeabgebende Oberfläche zu vergrößern. Durch das Einbringen definierter Hohlstrukturen in die Bauteilkonstruktion ist eine Steigerung der Bauteilsteifigkeit bei gleichzeitiger Materialeinsparung möglich. **Bild 4** zeigt ein Demonstratorbauteil aus Magnesium, das durch die Hohlgeometrie versteift wird. Dieses Druckgussteil wurde im Warmkammerverfahren gegossen [3].

Die Realisierung des Kühlkanals in konventionellen Elektromotorgehäusen wird im nachfolgenden Beispiel durch eine zweiteilige Konstruktion des Gehäuses erreicht. Dadurch sind Zusatzprozesse wie eine aufwendige mechanische Bearbeitung, Verschweißen und Abdichten erforderlich. Die Gasinjektionstechnologie ermöglicht hingegen die Herstellung des Kühlkanals unmittelbar im Druckgießprozess ohne aufwendige Zusatzprozesse. In einem gemeinsamen Industrieprojekt mit der Nematik Europe GmbH wurde die Möglichkeit zur Integration des Kühlkanals in ein einteiliges Elektromotorgehäuse im Aluminiumdruckgießen nachgewiesen (**Bild 5**). Über die gesamte Länge von 235 cm des in ein Elektromotorgehäuse eingebrachten Kühlkanals wird die Ausprägung sowohl glatter Oberflächen des Kanals als auch gleichmäßiger Wandstärken erreicht (vgl. **Bild 3**). Anhand dieses Demonstratorbauteils werden die Möglichkeiten und Vorteile des Verfahrens besonders deutlich:

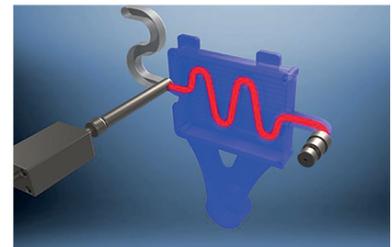
- Neue Freiheiten beim Produktdesign,
- Herstellung komplexer Geometrien bei Hohlbauteilen,
- Substitution mehrteiliger Baugruppen durch ein Gussteil,
- Herstellung einteiliger Gussteile ohne Abdicht- und Füge-nacharbeit,
- Entfall von Zusatzprozessen gegenüber der Verwendung von Einlegeteilen oder verlorenen Kernen,
- Bauteilkostensenkung durch die Einsparung von Material sowie vor- und nachgelagerter Zusatzprozesse.



1. Dosieren der Schmelze



2. Füllen der Kavität



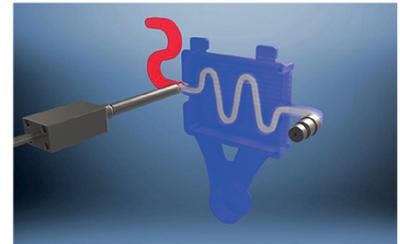
3. Gasdruck ist aufgebaut



4. Gasinjektor durchsticht die Randschale



5. Flüssiger Kern wird in die Nebenkavität ausgeräumt



6. Gashalte- und Nachdruckphase



7. Gussteil mit integriertem Kühlkanal

Bild 1: Schematische Darstellung des Gasinjektionsprozesses im Druckgießverfahren.

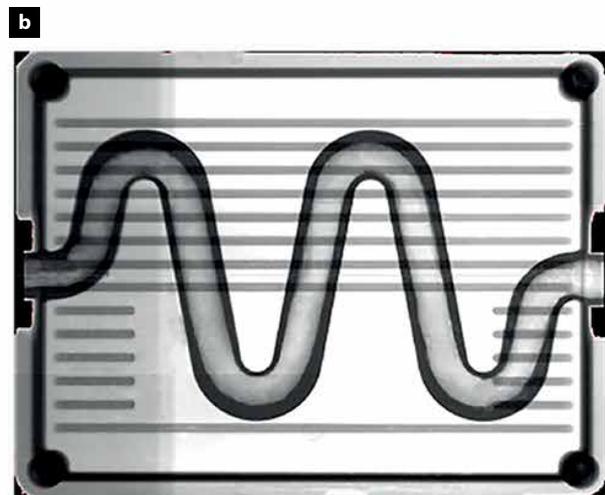


Bild 2: Im Aluminiumdruckgießverfahren hergestelltes, medienführendes Demonstratorbauteil mit integriertem, ausgeblasenem Kühlkanal: a) Vorderansicht und b) Röntgenansicht eines Kühlgehäuses für Leistungselektronik [1, S. 110 f. und 5, 6].

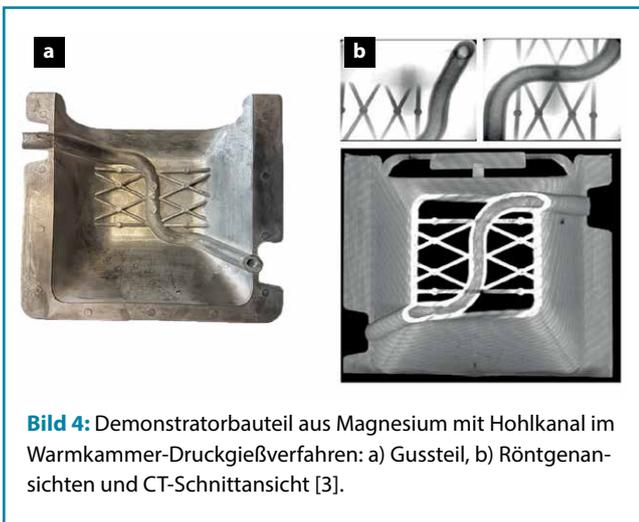
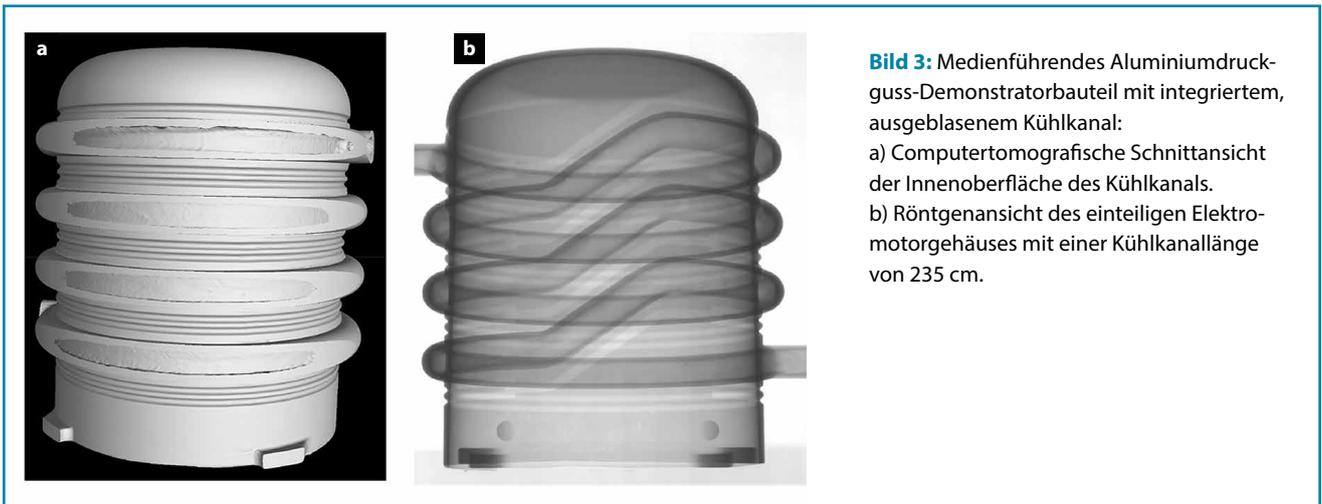
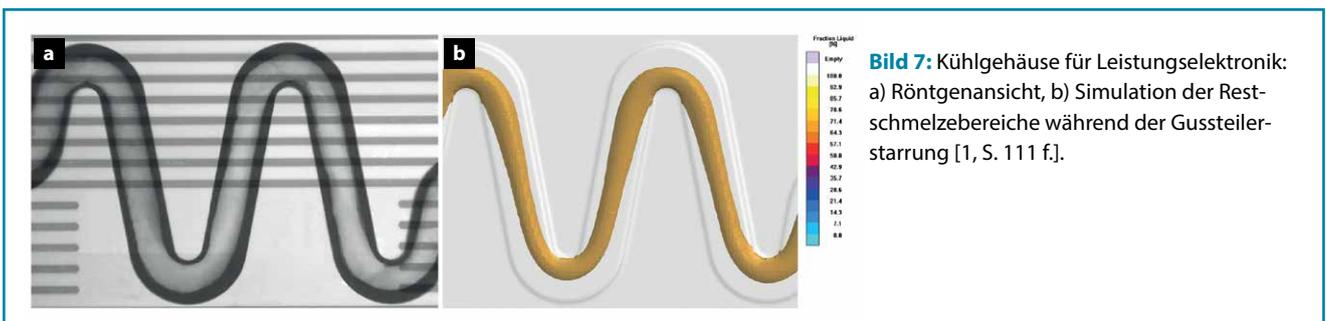


FOTO: NEMAK



3 Stand der Technik

Bei dem in Bild 1 schematisch dargestellten Verfahren (WO 2005/097378 A2) wird die Ausprägung des Hohlkanals maßgeblich von der äußeren Geometrie des Gussteils im Kanalbereich sowie dem Erstarrungsverhalten des Gussteils beeinflusst. Eine hohe Prozessstabilität des MAGIT-Gasinjektionsprozesses setzt einen stabilen Druckgießprozess voraus. Starke Streuungen in Bezug auf die Faktoren des Druckgießprozesses, welche das Erstarrungsverhalten des Gussteils unmittelbar beeinflussen, sind zu vermeiden.

Neben der zuvor beschriebenen geometrischen Gestaltung des Gussteils und des Kanals sowie den Prozessbedingungen des Druckgießprozesses wird die Ausprägung des Hohlkanals durch drei wesentliche Parameter des MAGIT-Gasinjektionsprozesses beeinflusst:

- Verzögerungszeit der Gaseinleitung in das Gussteil durch den Gasinjektor,
- Verzögerungszeit zur Freigabe der Nebenkavität durch Öffnen des Sperrschiebers,
- Gasdruck.

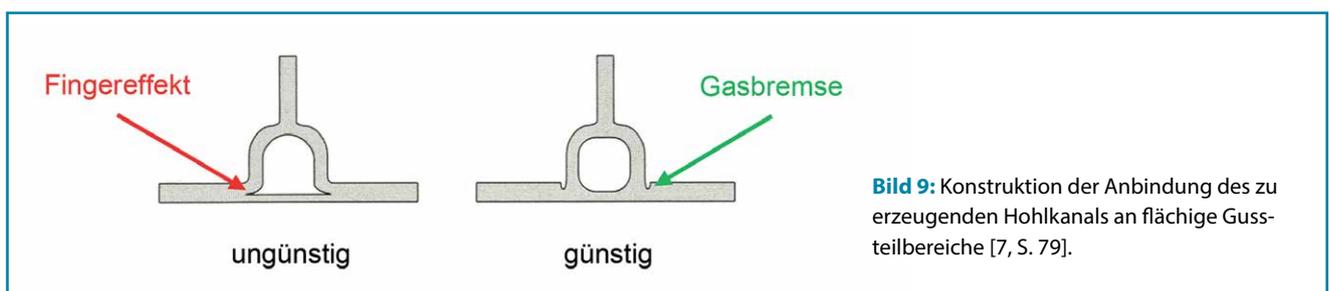
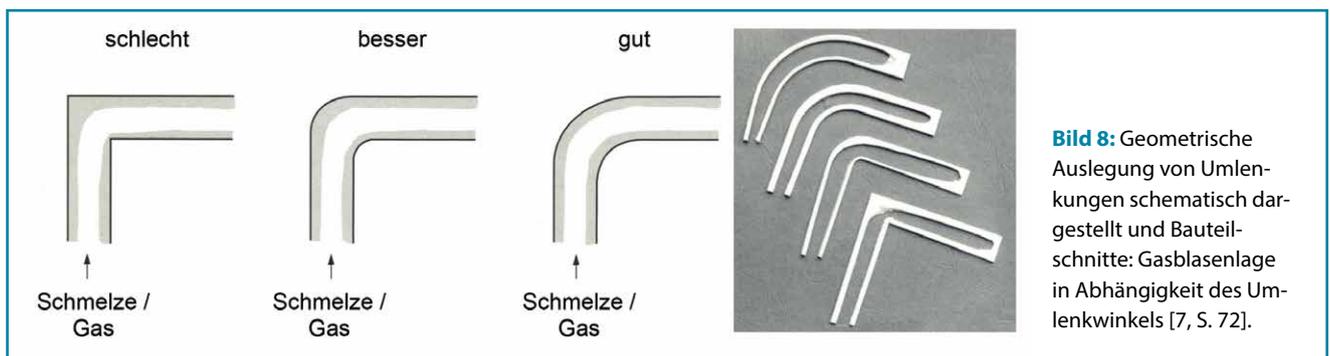
Mit zunehmender Verzögerungszeit schreitet der Erstarrungsvorgang des Gussteils weiter voran und die Dicke der erstarrten Randschicht zum Zeitpunkt der Gasinjektion nimmt zu, sodass der erzeugte Hohlkanaldurchmesser entsprechend geringer wird (Bild 6). Der Gasdruck wird durch das MAGIT-Powermodul, das von der Fa. TiK angeboten wird, auf zwei Druckniveaus von bis zu 500 bar bereitgestellt. Das erste, geringere Druckniveau dient der Verdrängung der Restschmelze in die Nebenkavität. Nach der vollständigen Verdrängung des Gießmetalls in die Nebenkavität wird der Gasdruck zur Nachverdichtung des erstarrenden Gussgefüges auf die zweite Druckstufe erhöht.

Die Ausbildung der verbleibenden Restschmelzebereiche und des Hohlkanals werden von der Geometrie des Gussteils sowie der Temperierung des Druckgießwerkzeugs beeinflusst.

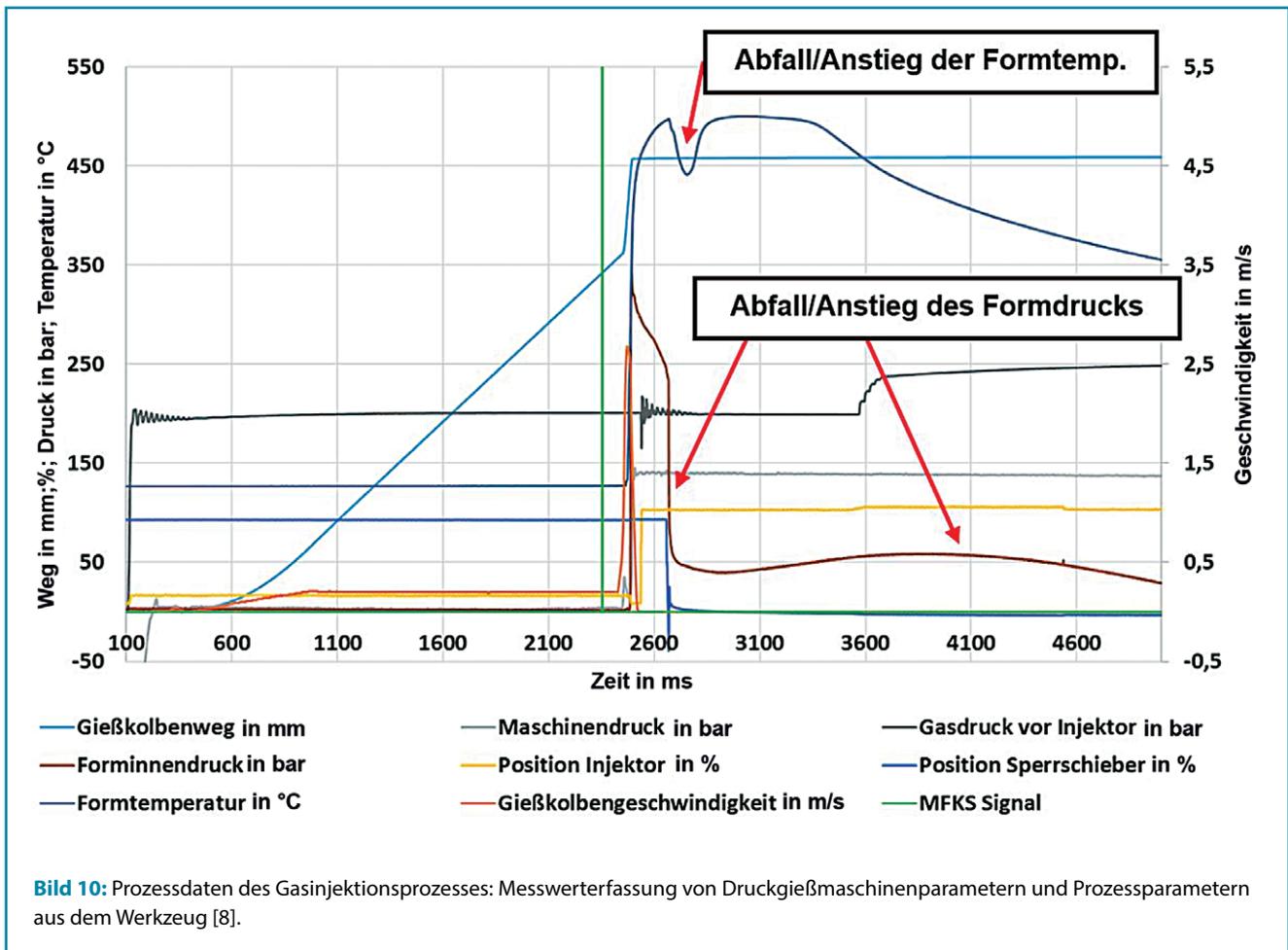
Um die Machbarkeit des MAGIT-Gasinjektionsprozesses überprüfen und die spätere Ausbildung des Hohlkanals im Gussteil bereits in der Konstruktionsphase abschätzen zu können, kann eine Erstarrungssimulation eingesetzt werden. Die Übereinstimmung der Ergebnisse aus der Erstarrungssimulation mit der realen geometrischen Ausbildung des Hohlkanals im Gussteil wurde bereits im Rahmen der Forschungsarbeit von C. Böhnlein [1] nachgewiesen.

Bei dem in Bild 7 dargestellten Gussteil ist in der Röntgenaufnahme eine Verschiebung der Kanalmittelechse zum Innenbereich der mäanderförmigen Umlenkungen zu erkennen (Bild 7 a). Diese geometrische Ausbildung lässt sich bereits anhand der Darstellung der Flüssigphasenanteile in der mit der Gießerei-Software MAGMASoft durchgeführten Erstarrungssimulation erkennen (Bild 7 b). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Werkzeugbereiche an den innenliegenden Umlenkungen partiell überhitzt werden, wodurch die lokale Erstarrungszeit in diesen Bereichen erhöht wird. Zum Zeitpunkt der Gasinjektion liegt dort ein höherer Restschmelzeanteil vor, sodass die Wandstärke des erzeugten Hohlkanals lokal verringert wird [1, S. 111 f.].

Der zuvor beschriebene Effekt ist auch in der Kunststoffspritzgießtechnik zu beobachten. Die Gasblase ist dort ebenfalls zur Innenseite der Kanalumlenkung verschoben und somit unsymmetrisch. Um eine symmetrische Lage der Gasblase und folglich gleichmäßige Wandstärken zu erreichen, ist der Umlenkwinkel entsprechend größer zu gestalten (Bild 8) [7, S. 71 f.]. Ein weiterer wichtiger Konstruktionsaspekt, der bei einer gasinjektionsgerechten Gussteilgestaltung berücksichtigt werden muss, ist die korrekte Anbindung flächiger Gussteilbereiche an den zu erzeugenden Hohlkanal (Bild 9). Bei einer ungünstigen Gestaltung der Anbindung besteht das Risiko, dass im Übergangsbereich Restschmelze vorliegt und das injizierte Gas in die flächigen Bereiche des Gussteils eindringt (Bild 9 a). Dieser Effekt wird in der Kunststoffspritzgießtechnik als Fingereffekt bezeichnet. Durch eine Wandstärkenreduzierung im Anbindungsbereich (Gasbremse, Bild 9 b) wird die lokale Erstarrungszeit verkürzt



SCHEMA: EYERER, P. ET AL



und der Fließwiderstand in diesem Bereich vergrößert, in der Folge werden Fingereffekte vermieden [7, S. 79].

Während der Projektlaufzeit sollen die Simulationsergebnisse anhand unterschiedlicher Demonstratorbauteile validiert werden, um einerseits dem Konstrukteur und Druckgießer zu ermöglichen, die Gussteilgeometrie auf eine gasinjektionsgerechte Konstruktion in Bezug auf das Erstarrungsverhalten des Gussteils zu überprüfen. Andererseits sollen zukünftig die strömungstechnischen Vorgänge während des MAGIT-Prozesses, welche maßgeblich von der geometrischen Gestaltung der Umlenkungen und Querschnittsübergänge des zu erzeugenden Hohlkanals beeinflusst werden und sich unmittelbar auf dessen Qualität auswirken, bereits frühzeitig in der Konstruktionsphase ermittelt sowie Problemstellen identifiziert und optimiert werden können. Zur Überwachung der Gasinjektionsparameter während der Produktion sind zusätzliche Sensoren im Werkzeug notwendig (Bild 10). Dazu zählen insbesondere der zeitlich dargestellten Wegverläufe des Sperrschiebers und des Gasinjektors. Anhand dieser beiden Messkurven, die über induktive Näherungssensoren ermittelt werden, sind ein Klemmen des Sperrschiebers sowie des Gasinjektors und damit veränderte Prozessbedingungen unmittelbar erkennbar.

Weiterhin ist ein Soll- / Ist-Vergleich zwischen der vordefinierten und der tatsächlichen Verzögerungszeit zum Öffnen der Nebenkavität durch den Sperrschieber und zur Gasinjektion durch den Gasinjektor möglich. Als Startsignal für die vordefinierte Verzögerungszeit wird das Signal von zwei im An-

schnittbereich positionierten Metallfrontkontaktsensoren der Fa. Electronics GmbH genutzt. Sobald diese im Druckgießprozess vom Gießmetall überströmt werden, geben sie ein elektrisches Signal aus und der Gasinjektionsprozess kann entsprechend getriggert werden. Weitere wichtige Messgrößen stellen die zeitlichen Verläufe des Forminnendrucks sowie der Formtemperatur dar. Diese Messkurven werden über zwei Drucksensoren ermittelt, die im Druckgießwerkzeug im Bereich des zu erzeugenden Hohlkanals positioniert sind.

Ein signifikant abrupter Abfall der Formtemperatur sowie des Forminnendrucks kennzeichnen das Durchbrechen der Restschmelze in die Nebenkavität. Während dieser Prozessphase löst sich das Gussteil durch die Druckentlastung geringfügig vom Druckgießwerkzeug ab. Nach der vollständigen Verdrängung der Restschmelze in die Nebenkavität baut sich im Inneren des Hohlkanals der Gasdruck zur Nachverdichtung auf. Dadurch wird das Gussteil stärker an die Oberfläche des Druckgießwerkzeugs gedrückt, wodurch die Messwerte des Forminnendrucks und der Formtemperatur erneut ansteigen [8].

4 Anlagentechnik

Um die Vorteile des Gasinjektionsprozesses im konventionellen Druckgießprozess nutzen zu können, werden im Wesentlichen drei Zusatzmodule und eine definierte Schnittstelle zur Übertragung von Sicherheits- und qualitätsrelevanten Prozess-

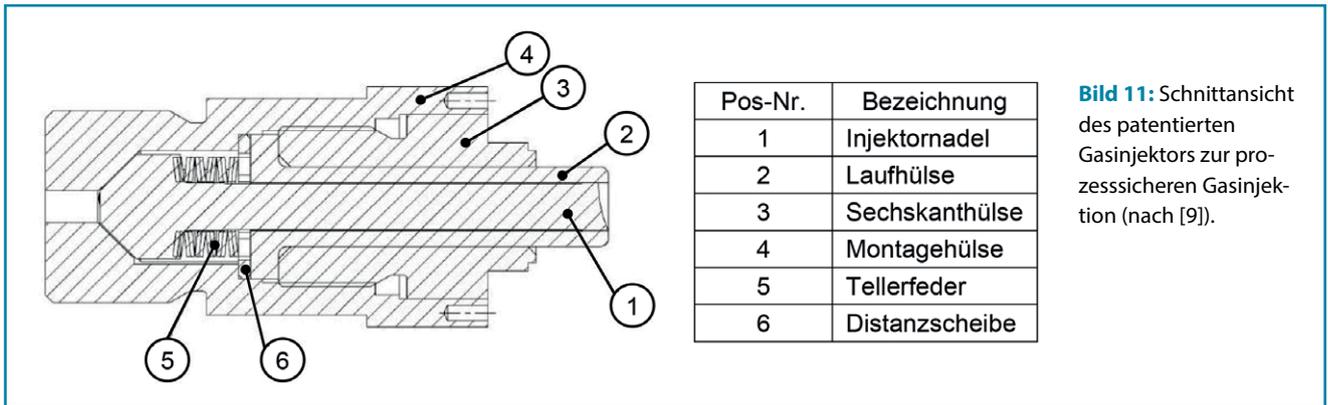


Bild 11: Schnittansicht des patentierten Gasinjektors zur prozesssicheren Gasinjektion (nach [9]).

SCHEMA-OP DE LAAK ET AL

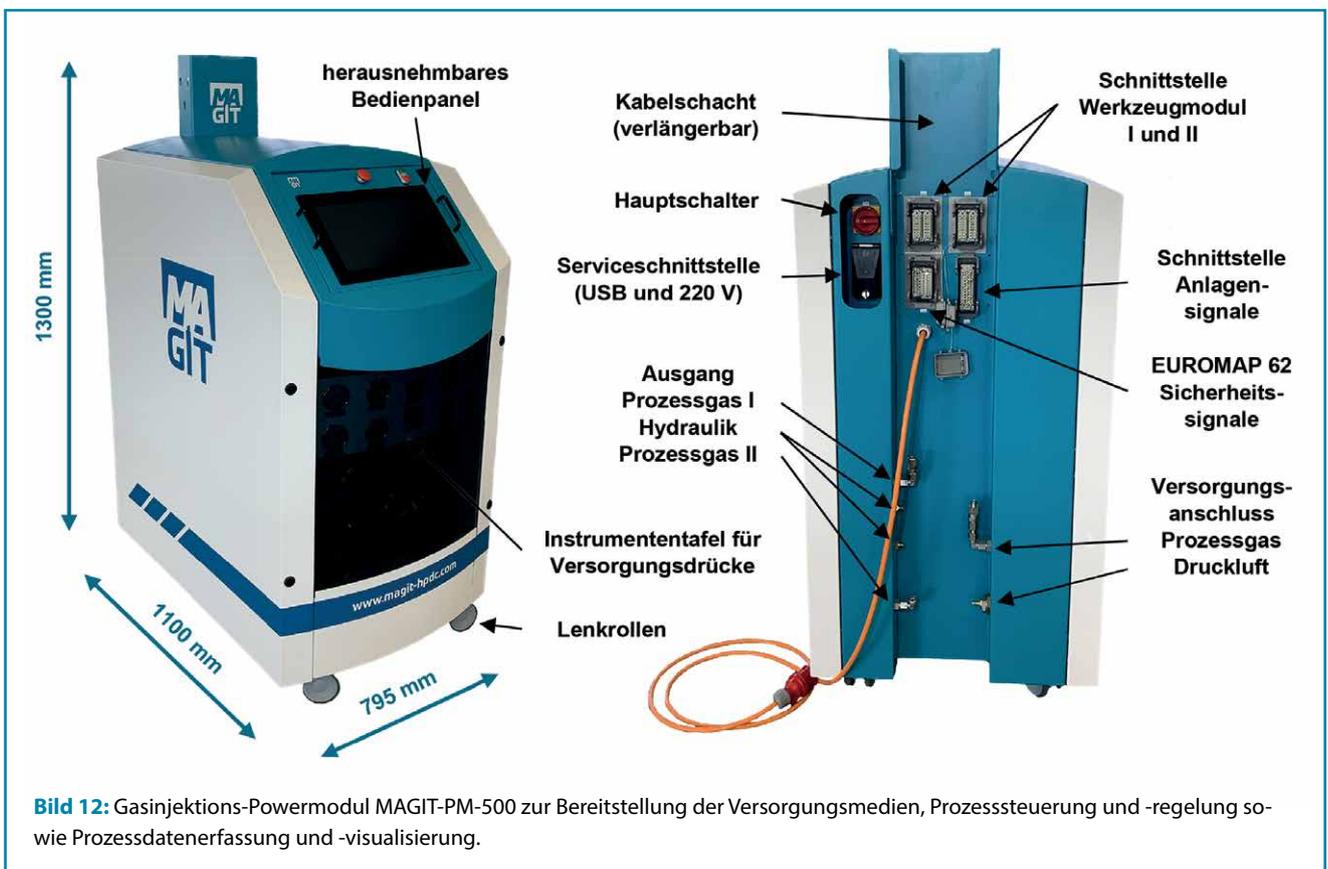


Bild 12: Gasinjektions-Powermodul MAGIT-PM-500 zur Bereitstellung der Versorgungsmedien, Prozesssteuerung und -regelung sowie Prozessdatenerfassung und -visualisierung.

SCHEMA: TIK GMBH

daten zwischen der Gasinjektionseinheit und der Druckgießmaschine benötigt. Neben dem kompakten Sperrschiebermodul, welches aus den Teileinsätzen für die Nebenkavität sowie dem Verschlussstift mit einem Hydraulikzylinder besteht, ist das aus dem Gasinjektor und einem Hydraulikzylinder bestehende Injektionsmodul in das Druckgießwerkzeug einzubringen. Dabei handelt es sich um Standardkomponenten, welche kostengünstig und innerhalb kurzer Lieferzeit verfügbar sind. Weiterhin sind die Komponenten derart konstruiert, dass sie im Druckgießwerkzeug mit geringem zeitlichem Aufwand montierbar und demontierbar sind.

Der in **Bild 11** dargestellte Gasinjektor wird durch einen Hydraulikzylinder betätigt. Die Kombination von Werkstoff und Beschichtungskomponenten für die Injektornadel sowie den Sperrschieber mit den dazugehörigen Führungshülsen

gewährleisten durch ihre mechanische und thermische Beständigkeit hohe Standzeiten sowie eine Verringerung der Klebneigung des Aluminiums im Druckgießprozess. Für Wartungs- und Montagezwecke wird ein Teileinsatz in das Druckgießwerkzeug eingebracht, um den Gasinjektor im gerüsteten Zustand auf der Druckgießmaschine innerhalb weniger Minuten zugänglich zu machen. Das in **Bild 12** dargestellte MAGIT-Powermodul, welches den Platzbedarf einer Europalette erfordert, dient der Bereitstellung der Versorgungsmedien, der Gasinjektionsprozesssteuerung und -regelung sowie der Prozessdatenerfassung und -visualisierung und der Kommunikation mit der Druckgießmaschine.

Der modulare Aufbau des MAGIT-Powermoduls ermöglicht je nach Werkzeug- und Kundenanforderung folgende Ausstattungsoptionen:

- Technische Ausstattung für die Herstellung eines Hohlkanals (Werkzeugmodul I) oder zwei unabhängiger Hohlkanäle (Werkzeugmodul I und II) in einem Druckgießwerkzeug,
- ein- oder mehrstufiges Hochdruck-Kompressormodul zur Gasdruckbereitstellung von bis zu 500 bar,
- mit oder ohne integrierter Hydraulikeinheit (bis zu 300 bar) für die Werkzeugmodule (Gasinjektor und Sperrschieber).

Durch den modularen Aufbau wird sowohl eine hohe Flexibilität hinsichtlich der Ausstattungsoptionen als auch eine gute Zugänglichkeit der einzelnen Komponenten für Service- und Wartungsarbeiten erreicht. Auf der Vorderseite des Powermoduls sind die Versorgungsdrücke durch eine transparente Einhausung dauerhaft sichtbar.

Die optimierte Bedienhöhe sowie der Neigungswinkel des Touchscreens ermöglichen eine ergonomische Bedienung. Durch das herausnehmbare Bedienpanel ist außerdem eine ortsunabhängige Anlagensteuerung möglich. Eine intuitive Bedienung der Anlage im Automatik- sowie im Handbetrieb ist durch die übersichtlich gestaltete Menüführung problemlos möglich. Neben den Bedien- sind Servicemenüs eingerichtet, welche die Signalübertragung der einzelnen Schnittstellen verständlich visualisieren sowie die unmittelbare Überprüfung der einzelnen Anlagenkomponenten ermöglichen [12].

5 MAGIT-Demonstratorbauteile

Das zuvor beschriebene MAGIT-Powermodul befindet sich derzeit im Einsatz zur Produktion der nachfolgend dargestellten Demonstratorbauteile:

- In dem in **Bild 13** dargestellten Gehäusedeckel werden kreisförmige und halbkreisförmige Querschnittsgeometrien des Hohlkanals sowie deren unterschiedliche Anbindung an das Gussteil realisiert. Die mäanderförmige Geometrie des Hohlkanals führt zu einer größeren Kanallänge und damit zu einer verbesserten Kühlleistung.
- Das in **Bild 14** dargestellte Gehäuse dient ebenfalls der Kühlung von Leistungselektronik-Komponenten. Hier wird ein halbkreisförmiger Kanalquerschnitt entlang der Gussteiloberfläche erzeugt.

Durch die in den Bildern 13 und 14 dargestellten MAGIT-Demonstratorbauteile wird die hohe Flexibilität hinsichtlich der Kanalgeometrie sowie das Einsparungspotenzial veranschaulicht, welche durch das Gasinjektionsverfahren erreichbar sind.

6 Zusammenfassung

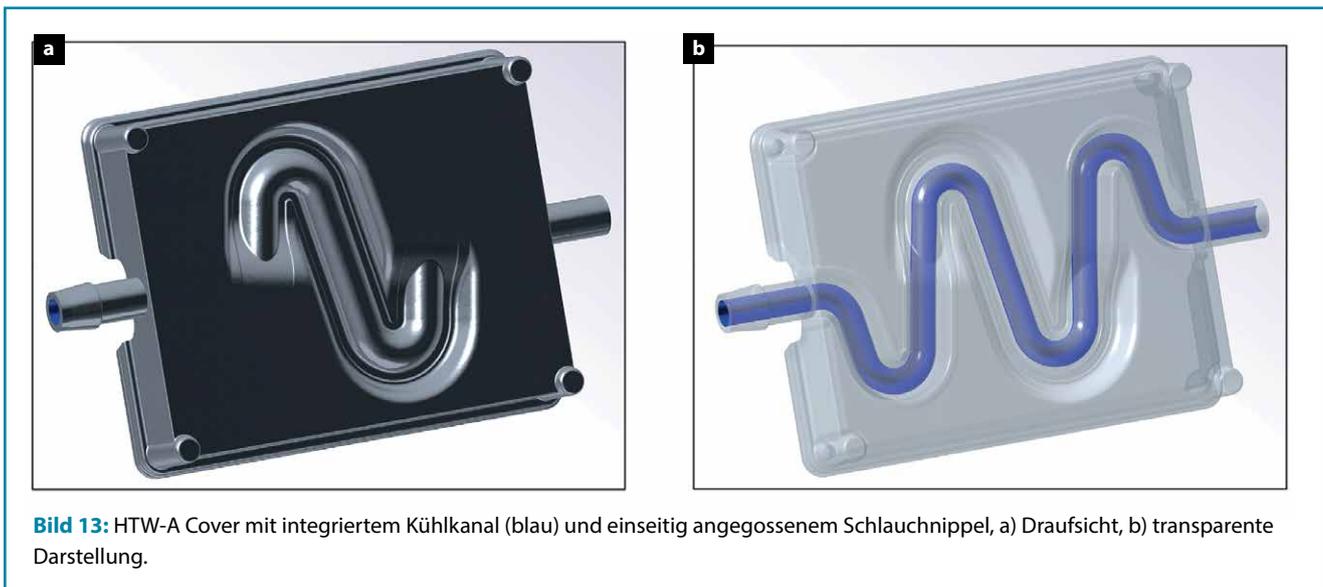


Bild 13: HTW-A Cover mit integriertem Kühlkanal (blau) und einseitig angegossenem Schlauchnippel, a) Draufsicht, b) transparente Darstellung.

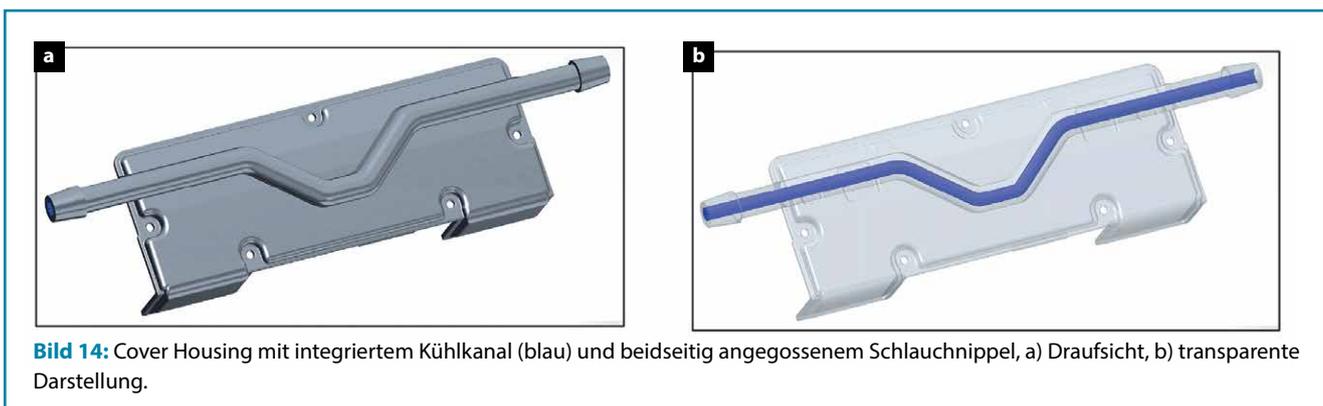


Bild 14: Cover Housing mit integriertem Kühlkanal (blau) und beidseitig angegossenem Schlauchnippel, a) Draufsicht, b) transparente Darstellung.

Vorteile des Gasinjektionsverfahrens ergeben sich einerseits durch die neuen Möglichkeiten des Bauteildesigns durch Funktionsintegration und Teilesubstitution. Dadurch entfallen aufwendige Zusatzprozesse wie die mechanische Bearbeitung sowie das Fügen und Abdichten einzelner Komponenten. Außerdem wird eine flexible Gestaltung der Anbindestellen der Bauteile ermöglicht, so lassen sich beispielsweise Schlauchnippel unmittelbar im Druckgießprozess an das Gussteil anbringen. Die Bauteilkosten werden somit durch Materialeinsparung sowie durch das Entfallen aufwendiger vor- und nachgelagerter Prozesse verringert. Innerhalb der 36-monatigen MAGIT-Projektlaufzeit liegt der Fokus auf der Markteinführung des Gasinjektionsverfahrens als großserientaugliches Verfahren zur Herstellung hohl dargestellter Leichtbaukomponenten sowie medienführender Druckgussbauteile.



EUROPÄISCHE UNION

Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

Das Forscherteam des Gießereilabors der Hochschule Aalen, unter der Leitung von Prof. Dr. Lothar Kallien, erhielt im März 2020 gemeinsam mit drei weiteren Projektpartnern die Zusage zur Förderung des Fast Track to Innovation (FTI) Projektvorhabens „MAGIT – Magnesium und Aluminium Gas Injektions- Technologie“ (Förderkennzeichen H2020-EIC-FTI-2018-2020 Grant Agreement Nummer: 950866) durch die Europäische Union.

Das Projektkonsortium vereint neben der Hochschule Aalen Kompetenzen von TiK-Technologie in Kunststoff GmbH im Bereich der Gasinjektionstechnologie im Druckgießen, die Kompetenzen aus dem innovativen Seriedruckgießen der Aluwag AG (Schweiz) und aus dem Werkzeugbau für Druckgießwerkzeuge der Surtechno nv (Belgien).

Prof. Dr.-Ing. Lothar Kallien, Florian Mäuser, M.Sc., Dipl.-Ing. Thomas Weidler, Hochschule Aalen und Dipl.-Ing. Marcel Op de Laak, TiK-Technologie in Kunststoff GmbH, Teningen

Literatur:

- [1] Böhnlein, C.: Darstellung 3-dimensionaler, funktionaler Hohlstrukturen im Druckguss durch Gasinjektion. Zugl.: Clausthal, Techn. Univ., Diss., 2013. Berichte aus der Fertigungstechnik. Aachen: Shaker-Verl. 2014.
- [2] Giesserei 100 (2013), [Nr. 12] 12, S. 36–42.
- [3] Giesserei 101 (2014) 07, S. 38–43
- [4] Hochschule Aalen: Gießerei Kolloquium an der Hochschule Aalen. GIESSEREI 101 (2014), [Nr. 07], S. 131–133.
- [5] Becker, M.: Gasinjektionstechnik im Druckguss zur Herstellung eines definierten Kühlkanals in einem Funktionsbauteil, Hochschule Aalen Bachelorarbeit. 73430 Aalen 2012.
- [6] Kuchar, W.: Entwicklung der Gasinjektionstechnologie für Aluminiumdruckgießanwendungen, Hochschule Aalen Masterthesis. 73430 Aalen 2017, S. 44.
- [7] Eyerer, P., Elsner, P. u. Avery, J.: Gasinjektionstechnik. München: Hanser 2003.
- [8] Giesserei-Special (2017), [Nr. 02], S. 58–65.
- [9] Patente DE102017109716B3.
- [10] Op de Laak, M.: Gasinjektionstechnik (GIT): Grundlagen und Designrichtlinien. Teningen 2018.
- [11] MAGIT-Webseite : www.magit-hpdc.com.

G-S-D

**Gerhard Schoch
Druckgiesstechnik**

Entwicklung und Fertigung
von

Verschleißteilen

und

Peripheriegeräten

für den

Warmkammerdruckguss

Zink und Magnesium
sowie

Kaltkammerdruckguss

Aluminium Magnesium



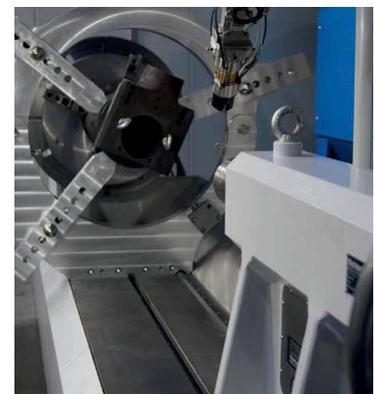
Additive

Fertigungstechnik

Laser Cladding bei G-S-D

Außen und Innenbeschichtung
L. bis 4000 mm D. bis 1000 mm

die andere Art zu Reparieren



Überzeugen Sie sich

von unserem umfassenden
u. qualitativ hochwertigem

Leistungsangebot