

# **Neue Entwicklungen beim Thixospritzgießen von Magnesiumlegierungen**

---

**Harald Eibisch, Andreas Lohmüller, Martin Scharrer, Ralf Jenning,  
Michael Hilbinger, Robert F. Singer**

## **Abstract**

The injection molding (Thixomolding<sup>®</sup>) of magnesium alloys has great potential to be established as a competitive metallurgical fabrication process of magnesium parts. Thixomolding<sup>®</sup> does not compete directly with the traditionally high pressure die casting processes. It is rather considered as an additional mass production process.

Due to its enclosed melting process, it is possible to cast new magnesium alloys, which would not be castable by the conventional high pressure die casting technology because of melting loss, oxidation or segregation of alloying additions.

Regarding the production costs of Thixomolding<sup>®</sup> in comparison to high pressure die casting, a significant reduction originates as a result of a favorable energy and ecological balance. Last but not least the lower melting temperatures contribute to a prolongation of die life.

It is still uncertain whether the injection molding of magnesium gets access into the production facilities of European plastic manufacturer. Especially with regard to the increasing demand of innovative and high quality light weight products for the automotive, electronic and consumer industries, a parallel processing of magnesium alloys and plastics by injection molding can be a crucial advantage in the market.

## **Zusammenfassung**

Das Thixospritzgießen (Thixomolding<sup>®</sup>) von Magnesiumlegierungen hat das Potenzial sich zukünftig neben dem Druckguss als ein ernst zunehmendes, schmelzmetallurgisches Fertigungsverfahren für Magnesiumanwendungen zu etablieren. Das Thixospritzgießen stellt dabei keine direkte Konkurrenz zu den herkömmlichen Druckgussvarianten dar, sondern ist vielmehr als ergänzendes, großserientaugliches Fertigungsverfahren zu sehen.

Durch den einstufigen, geschlossenen Prozessablauf können so neue Legierungen vergossen werden, die z.B. durch Abbrand, Oxidation oder Seigerungen von Legierungszusätzen im Schmelzetiegel mit der konventionellen Druckgusstechnologie nicht verarbeitet werden können.

Aus Sicht der Fertigungskosten kann außerdem aufgrund der günstigeren Energie- und Ökobilanz des Thixospritzgießens gegenüber dem Druckguss eine spürbare Einsparung verzeichnet werden, nicht zuletzt auch wegen den zu erwartenden längeren Werkzeugstandzeiten bedingt durch die geringere Schmelzetemperatur.

Fraglich bleibt nur, ob die Thixospritzgießtechnik auch in Europa Einzug in die Hallen von Kunststoffspritzbetrieben hält. Gerade im Hinblick auf die zu erwartende, zunehmende Nachfrage nach innovativen und hochwertigen Leichtbauprodukten für die Automobil-, Elektronik- und Konsumgüterindustrie kann die parallele Verarbei-

tung von Magnesiumlegierungen und Kunststoffen im Spritzguss einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil darstellen.

## 1. Einleitung

Der Einsatz von Magnesium als Konstruktionswerkstoff für Funktions- und Strukturbauenteile hat in den vergangenen Jahren v.a. in der Automobil- und Elektronikgehäuseindustrie stetig zugenommen. Neben seinem im Vergleich zu Aluminium um gut ein Drittel geringeren spezifischen Gewicht hat Magnesium insbesondere entscheidende Vorteile gegenüber technisch eingesetzten Kunststoffen. Dank der guten spezifischen Steifigkeit, der hohen thermischen Leitfähigkeit und der guten elektromagnetischen Abschirmung steht Magnesium derzeit weniger im direkten Wettbewerb zu Aluminium als vielmehr zu einer Vielzahl von Kunststoffen.

Für Großserien erfolgt die schmelzmetallurgische Verarbeitung von Magnesiumlegierungen derzeit fast ausschließlich im Druckguss. In den letzten Jahren haben jedoch zunehmend auch neuere Herstellungsprozesse das Interesse geweckt, bei denen das Metall im teilflüssigen Zustand vergossen wird, den so genannten Thixoformingverfahren. Dazu gehören das Thixoschmieden (Thixoforging), das Thixogießen (Thixocasting), das New Rheocasting und das Thixospritzgießen. Allen Verfahren gemein ist die Verarbeitung einer Metalllegierung im Bereich ihres Erstarrungsintervalls. Während beim Thixoschmieden und Thixogießen schmelzmetallurgisch hergestelltes und metallurgisch speziell vorbehandeltes Blockmaterial verwendet wird, kommt beim Thixospritzgießen ähnlich dem Kunststoffspritzguss granulatförmiges Ausgangsmaterial zum Einsatz. Beim New Rheocasting dient eine aufwendig teilerstarre Schmelze als direkt zu vergießendes Vormaterial. In Tabelle 1 sind die wichtigsten Merkmale der unterschiedlichen Semi-Solid-Verarbeitungsverfahren aufgezeigt. Angefangen von den unterschiedlichen Vormaterialien resultiert aus den jeweiligen Verarbeitungsprozessen eine entsprechende Bandbreite für den primären Festphasenanteil. Das Thixospritzgießen deckt dabei einen Bereich von 0 bis ca. 40 % Festphase ab. Abgrenzend dazu liegen die Festphasenanteile beim New Rheocasting bei ca. 30 bis 50 %, beim Thixocasting um die 40 bis 70 % und beim Thixoforging zwischen 60 und 90 %.

*Tabelle 1:* Gegenüberstellung der unterschiedlichen Semi-Solid-Verarbeitungsverfahren für Leichtmetalle.

Verfahren	Legierungen	Vormaterial	Prozessanlage	Festphasenanteil
<b>Thixoforging</b>	Aluminium, Magnesium, (Stahl)	globulitisches Blockmaterial	konventionelle Schmiede	60 – 90 %
<b>Thixocasting</b>	Aluminium, Magnesium	globulitisches Blockmaterial	modifizierte Kaltkammerdruckgussanlage	40 – 70 %
<b>New Rheocasting</b>	Aluminium, Magnesium	speziell erstarrte Schmelze	indirektes Squeeze-casting (modifiziert)	30 – 50 %
<b>Thixomolding®</b>	Magnesium, (Zink)	Granulat	modifizierte Spritzgussanlage	0 – 40 %

Das Thixospritzgießen von teilflüssigen Magnesiumlegierungen ist eine noch sehr junge Technologie, deren industrielle Verbreitung in den letzten 10 Jahren v.a. in Japan und Südostasien ein rasantes Wachstum vollzogen hat. Treibender Motor ist der zunehmende Bedarf Kunststoffe durch Leichtmetalle zu substituieren. Dabei hat die enge Verwandtschaft des Thixospritzgießens zum Kunststoffspritzguss die Integration in das Umfeld einer vormals reinen Kunststoffspritzgießerei wesentlich begünstigt. Die Anzahl der aktuell in Japan und Südostasien produzierenden Thixomolding®-Anlagen beläuft sich auf über 200 Stück. Weitere 40 Anlagen sind in Canada und USA im Einsatz. Neben der Hauptanwendung für dünnwandige Elektronikgehäuse ist zunehmend auch ein wachsendes Interesse der Automobilindustrie für die Verarbeitung von Magnesium im Thixospritzgießen zu verzeichnen (Bild 1).



*Bild 1: Anwendungsbeispiele für Magnesiumbauteile hergestellt im Thixospritzguss. Neben Elektronikgehäusen (links) werden bereits erste Serienbauteile für den Automobilsektor produziert (Sitzrahmen und „Shift Cam“, rechts).*

Die Neue Materialien Fürth GmbH (NMF) betreibt sein Anfang 2002 die erste in Europa in Betrieb genommene Maschine der Fa. Japan Steel Works mit einer Schließkraft von 220 t. Im Fokus der Forschungsarbeiten stehen grundlegende Untersuchungen zur bestehenden Prozesstechnik und den erreichbaren Werkstoffkennwerten gängiger Magnesiumlegierungen im Vergleich zum Druckguss. Parallel werden Weiterentwicklungen durchgeführt (z.B. Heißkanaltechnik, Verarbeitung von neuen Legierungen und Verbundwerkstoffen), die aufgrund der verfahrensbedingten Randbedingungen im Druckguss nicht realisiert werden können.

## 2. Verfahrensgrundlagen

Den prinzipiellen Aufbau einer Thixospritzgießanlage zeigt Bild 2. Ähnlich wie beim Kunststoffspritzgießen wird das Magnesiumgranulat zunächst über ein Saugfördergerät in die Schnecke eingebracht. Durch die Rotation der Schnecke wird das Granulat bei gleichzeitiger Erwärmung und ständiger Scherbeanspruchung bis in den Schneckenvorraum transportiert. Anschließend wird die teilflüssige Schmelze mit hoher Geschwindigkeit über einen hydraulischen Gießantrieb analog zum Druckguss in die Kavität eingepresst.

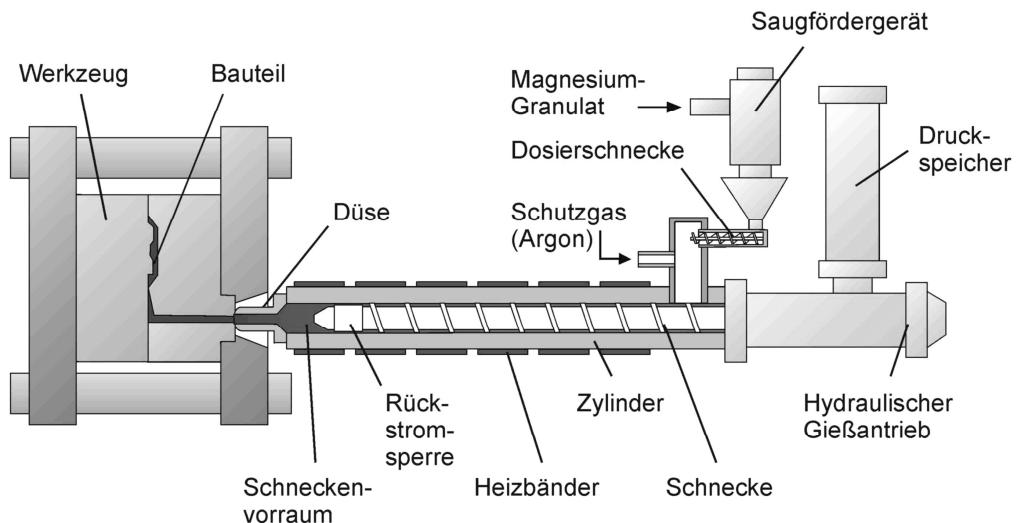


Bild 2: Schematischer Aufbau einer Thixospritzgießanlage.

Gegenüber dem Druckguss liegt die Verarbeitungstemperatur beim Thixospritzgießen je nach Festphasenanteil um bis zu 100 °C niedriger (Bild 3). Neben dem geringeren Energieverbrauch reduziert die niedrigere Verarbeitungstemperatur v.a. die Werkzeugbelastung. Durch die geringere Erstarrungsschrumpfung und das niedrigere Temperaturniveau werden außerdem die Maßhaltigkeit und der Verzug der Gussteile verbessert sowie die Gefahr von Heißrissen verringert. Eine bessere Maßhaltigkeit minimiert folglich auch den Aufwand der mechanischen Nachbearbeitung.

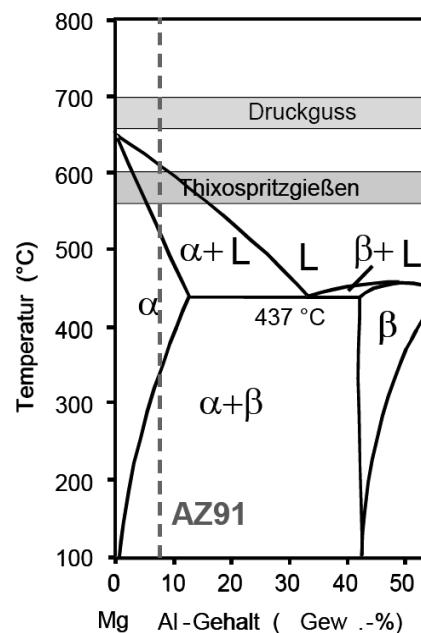


Bild 3: Zustandsdiagramm des Systems Mg-Al. Gegenüber dem Druckguss liegt die Verarbeitungstemperatur der Legierung AZ91 beim Thixospritzgießen um bis zu 100 °C niedriger.

Durch die fortwährende Scherung sinkt die Viskosität der teilflüssigen Schmelze. Diesen Effekt nennt man Thixotropie. Dabei werden die dendritischen Strukturen der primären Festphase zerschlagen und zu Globuliten eingeförmert (Bild 4). Die Viskosität verringert sich zum Teil um mehr als eine Größenordnung. Mit zunehmenden Scher-

raten, wie sie z.B. im Anschnittsbereich mit hohen Füllgeschwindigkeiten auftreten, ist ein zusätzlicher Viskositätsabfall zu verzeichnen – ein Effekt, der als Strukturviskosität bezeichnet wird. Beide Effekte ermöglichen es, beim Thixospritzgießen von dünnwandigen Magnesiumbauteilen einen maximalen Festphasenanteil von bis zu 40% zu verarbeiten.



Bild 4: Unterschiedliche Gefügeausbildung ohne und mit Scherung von teilflüssigen Magnesiumschmelzen.

Zur Untersuchung des rheologischen Verhaltens teilflüssiger Metallschmelzen steht bei NMF ein speziell entwickeltes Hochtemperatur-Rotations-Rheometer zur Verfügung. In Bild 5 ist der Viskositätsabfall mit zunehmender Scherrate anhand einer niedrig schmelzenden Zinn-Blei-Modelllegierung (Festphasenanteil 45%) in guter Übereinstimmung zu Literaturwerten aufgetragen (links). Die Viskosität ändert sich in einem Bereich von 8 bis 9 Größenordnungen.

Daneben ist das thixotrope Verhalten von AZ91D bei einem Festphasenanteil von ca. 12% unter konstanter Scherbeanspruchung dargestellt. Hierzu wird die Legierung zunächst bis in den vollflüssigen Bereich erwärmt und dann auf 590 °C abgekühlt. Danach wird eine konstante Scherrate von  $100 \text{ s}^{-1}$  aufgebracht. In einem Zeitraum von ca. 2 min sinkt die Viskosität um über eine Großenordnung bis sie nach vollständig globulitischer Einformung der ursprünglich dendritischen Festphase einen stationären Wert erreicht [1].

Die Untersuchung rheologischer Kenngrößen hat insbesondere Bedeutung für die numerische Simulation von Gießprozessen teilflüssiger Metallschmelzen.

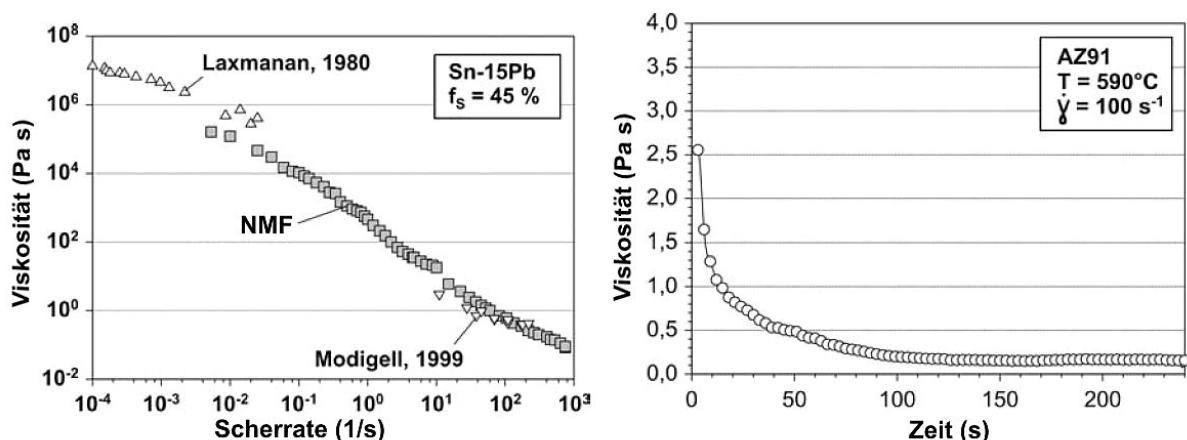


Bild 5: Rheologisches Verhalten von teilflüssigen Metallschmelzen. Die Sn-15Pb-Modelllegierung zeigt bei einem Festphasenanteil von 45% ein typisches strukturviskoses Verhalten (links). Als Beispiel für Thixotropie ist der zeitliche Viskositätsabfall von AZ91D mit einem Festphasenanteil von ca. 12% unter konstanter Scherbelastung ( $100 \text{ s}^{-1}$ ) aufgetragen (rechts) [1].

### 3. Materialeigenschaften

#### 3.1 Gefügeausbildung

Ein Schwerpunkt der bisherigen Untersuchungen bei NMF liegt derzeit auf der Legierung AZ91D, um im direkten Vergleich zum klassischen Druckgussverfahren einen klaren Zusammenhang zwischen den Herstellungsparametern und den mechanischen Eigenschaften zu erzielen. In zukünftigen Arbeiten werden dann v.a. neue und speziell für das Thixospritzgießen zugeschnittene Legierungen untersucht.

In Bild 6 sind einige der bislang abgegossenen Demonstrationsbauteile und Prototypen abgebildet. Aufbauend auf der einfachen, dünnwandigen Geometrie der Bauteile 1 und 2 (Wanddicke 1,5 mm) werden anhand Bauteil 3 der Einfluss unterschiedlicher Wanddicken (1,5 mm, 3 mm und 6 mm) untersucht und in Bauteil 4 und 5 verschiedene Funktionselemente, wie Durchbrüche und Verrippungen, verwirklicht. Bauteil 6 ist wiederum eine Stufenplatte mit 2, 6, 10 und 14 mm Wandstärke. Bei den Bauteilen 7 und 8 handelt es sich um erste Prototypen für die Fahrzeugindustrie, namentlich um ein Ölpumpengehäuse und den entsprechenden Deckel, die beide derzeit in Serie für das Motorrad R 1200 GS von BMW im Druckguss gefertigt werden. Nach DIN abgegossene Zugstäbe sind unter Nr. 9 abgebildet.

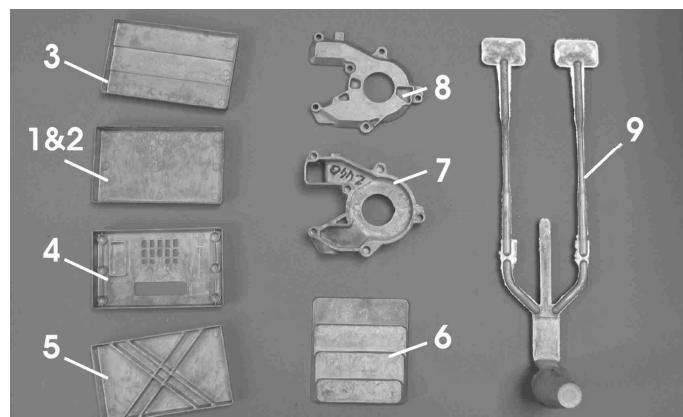


Bild 6: Auswahl der bei NMF abgegossenen Demonstrationsbauteile und Prototypen.

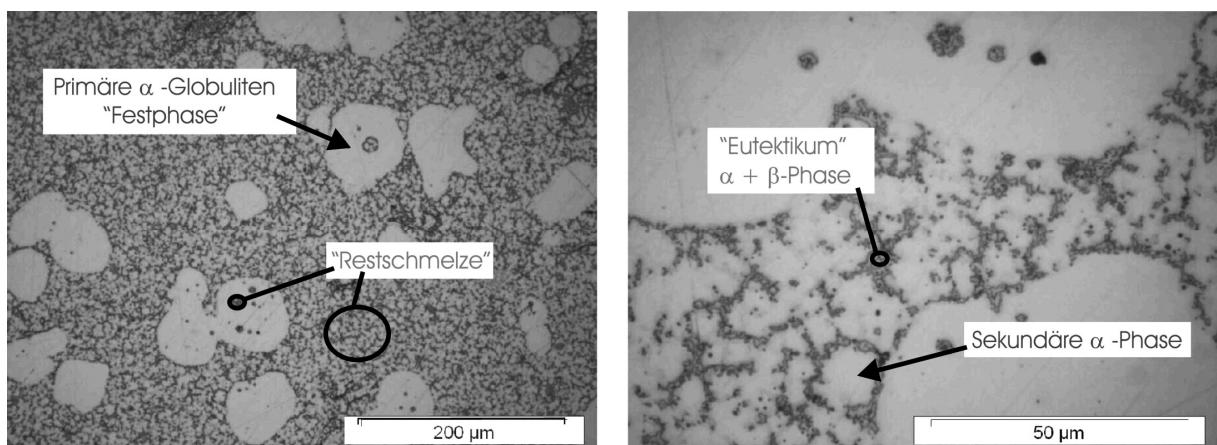


Bild 7: Charakteristische Mikrostruktur von AZ91D verarbeitet im Thixospritzguss.

Das typische Mikrogefüge von AZ91D im teilflüssigen Gusszustand zeigt Bild 7. Die bereits in der Schmelze gebildete Festphase ist durch die fortwährende Scherung in

der Schecke globulitisch eingeförmmt und besteht aus primärem  $\alpha$ -Mischkristall mit teilweise eingeschlossener Restschmelze. Die Restschmelze, d.h. der flüssige Anteil der thixotropen Schmelze, erstarrt nach dem Einspritzen in die Form ähnlich wie im Druckguss. Es bildet sich sekundäre, sehr fein verteilte, dendritische  $\alpha$ -Phase und Eutektikum, bestehend aus  $\alpha$ - und  $\beta$ -Phase ( $Mg_{17}Al_{12}$ ). Mittels Mikrosondenanalytik wurde innerhalb der Primärglobuliten ein maximaler Aluminiumgehalt von 3 bis 4 % bestimmt. Folglich steigt der Aluminiumgehalt in der Restschmelze entsprechend an. Im Vergleich von 605 °C Prozesstemperatur zu 580 °C erhöht sich der Aluminiumgehalt in der Restschmelze um etwa 2 % – ein Effekt, der sich entsprechend auf die mechanischen Eigenschaften auswirken kann.

Der Anteil an primärer Festphase in der Schmelze wird durch die Prozesstemperatur in der Schnecke bestimmt. Die Abhängigkeit des Festphasenanteils in Abhängigkeit von der Prozesstemperatur von AZ91D ist in Bild 8 dargestellt. Oberhalb der Liquidustemperatur von 598 °C liegt der Festphasenanteil bei faktisch 0 %. Mit sinkender Prozesstemperatur steigt der Festphasenanteil an. Bei 570 °C bildet sich bereits ein Festphasenanteil von über 40 %. In guter Übereinstimmung mit Literaturwerten [2] liegen die Festphasenanteile für die unterschiedlichen Gussteile unterhalb der nach dem Scheil-Erstarrungsmodell für AZ91 (9% Al, 0,7% Zn, 0,3% Mn, Rest Mg) errechneten Kurve.

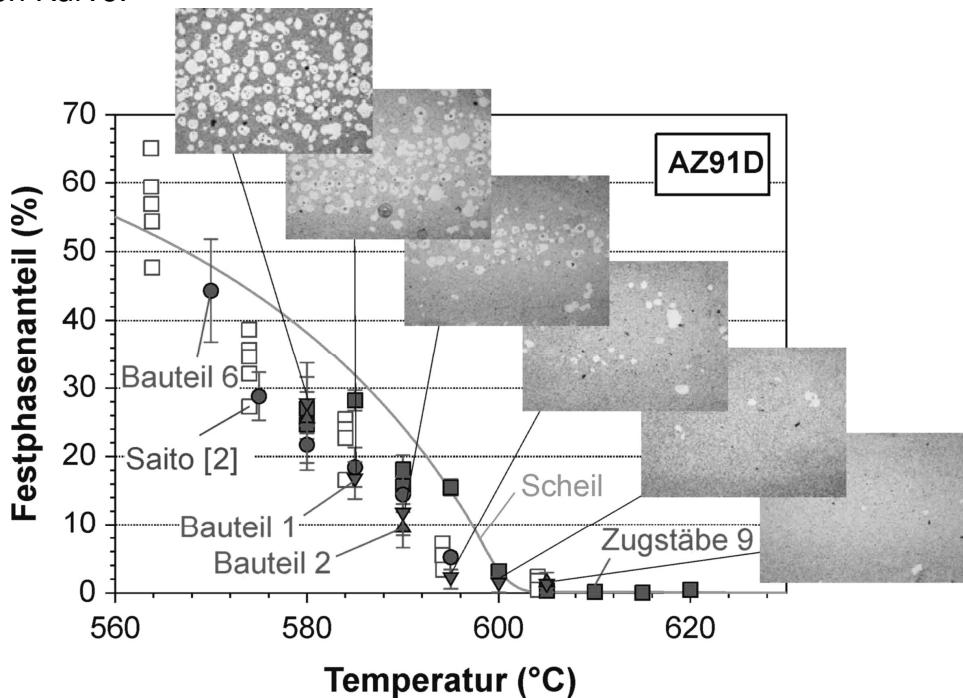
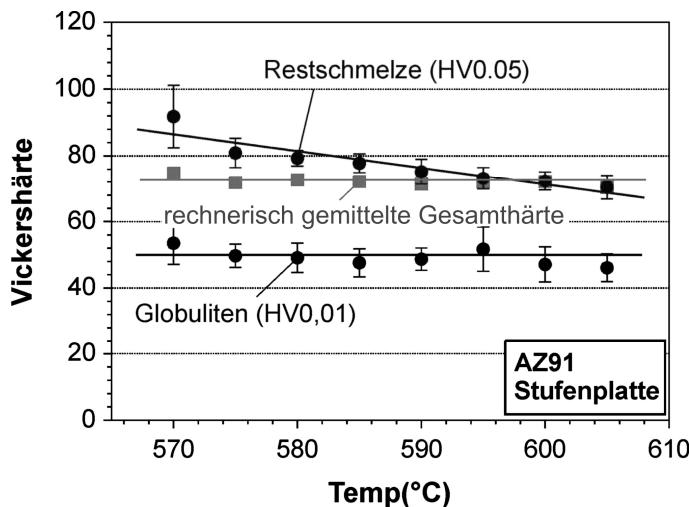


Bild 8: Abhängigkeit des Festphasenanteils von AZ91D beim Thixospritzgießen von der Prozesstemperatur in der Schnecke. Maximal wurden bei NMF ca. 40% verarbeitet.

### 3.2 Mechanische Eigenschaften

Ein interessanter Zusammenhang zwischen lokaler Härte und Festphasenanteil ist am Beispiel von Bauteil 6 (Stufenplatte mit 6 mm Wandstärke) festzustellen (Bild 9). So bleibt die Härte HV0,01 in den Primärglobuliten über den untersuchten Prozess-temperaturbereich annähernd konstant, während die Restschmelze mit zunehmendem Festphasengehalt an Härte zunimmt. In Übereinstimmung mit den Mikrosondenanalysen bewirkt der geringere und über die Prozesstemperatur annähernd kon-

stante Aluminiumgehalt in den Primärglobuliten einen niedrigeren Härtewert als in der mit abnehmender Prozesstemperatur ansteigende Aluminiumgehalt in der Restschmelze. Grund dafür sind die vermehrten, harten  $Mg_{17}Al_{12}$ -Ausscheidungen ( $\beta$ -Phasen), die sich aus der zunehmend übersättigten Restschmelze ausscheiden. Ermittelt man entsprechend der Volumenanteile von Globuliten und Restschmelze die Gesamthärte mit Hilfe der linearen Mischungsregel aus den Einzelhärten, so ergibt sich jedoch wieder ein über den gesamten Prozesstemperaturbereich relativ konstanter Wert, da die Gewichtung der härtesteigernden Restschmelze mit fallender Temperatur abnimmt.



*Bild 9:* Abhängigkeit der Vickershärte in  $\alpha$ -Globuliten und Restschmelze von der Prozesstemperatur. Aufgrund der Anreicherung von Aluminium (und damit einer Erhöhung des Eutektikumsanteils) nimmt die Härte in der Restschmelze zu, während die Härte der Globuliten nahezu unverändert bleibt.

Die mechanischen Kennwerte von AZ91D-Zugstäben in Abhängigkeit von der Prozesstemperatur bei ansonst gleich bleibenden Gießbedingungen (leere Symbole) zeigt Bild 10. Trotz abfallender Zugfestigkeit und Bruchdehnung liegen die Werte im Streubereich für im Druckguss vergossene Zugstäbe [3]. Die Bruchdehnung erreicht bei Temperaturen über 600 °C sogar bessere Werte als im Druckguss. Der Abfall der Zugfestigkeit und der Bruchdehnung ist auf zunehmende Kaltflussbildung an der Gussteiloberfläche zurückzuführen. Durch die Erhöhung der Viskosität und der Verminderung des Wärmeinhalts treten diese Gießfehler mit sinkender Gießtemperatur vermehrt auf. Als Folge brechen die Zugproben zunehmend an solchen Fehlstellen, die sich vorwiegend angussfern ausbilden (Bild 10, rechts).

Wie bereits erwähnt wurden die Prozessparameter (Werkzeugtemperatur, Einspritzgeschwindigkeit, etc.) bislang nicht an die veränderten Prozessbedingungen des Thixospritzgießens gegenüber dem Druckguss angepasst. Erste Ergebnisse zeigen jedoch, dass auch für hohe Festphasenanteile (d.h. geringere Prozesstemperaturen) durch Anpassung der Gießparameter noch Optimierungspotenzial besteht (Bild 10, volle Symbole). Die Streckgrenze ändert sich nicht wesentlich über die Prozesstemperatur. Ein Indiz für die oben erwähnte Konstanz der Gesamthärte, d.h. dem plastischen Verformungswiderstand in Abhängigkeit von der Prozesstemperatur.

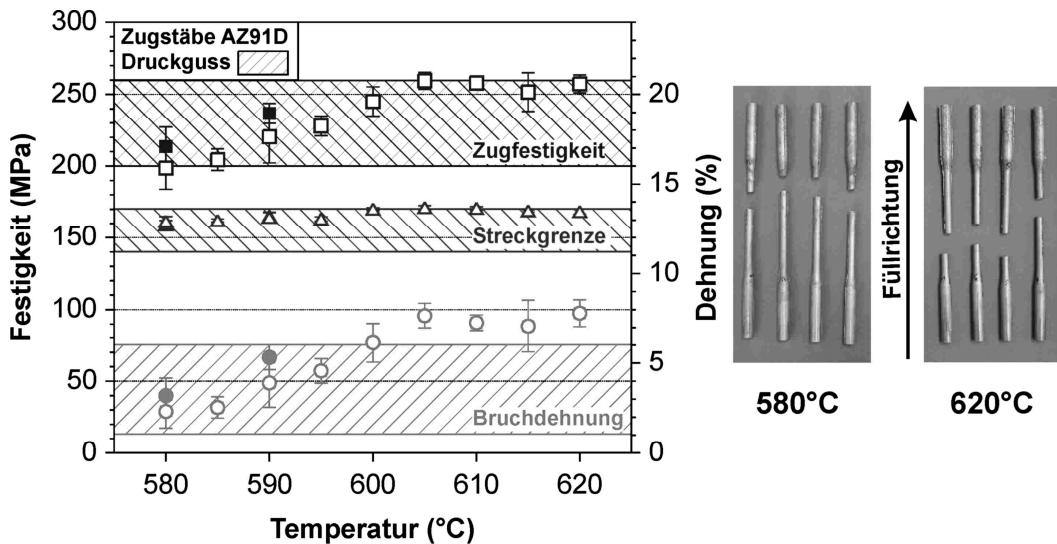


Bild 10: Auftragung von Zugfestigkeit, Streckgrenze und Bruchdehnung der Legierung AZ91D von der Prozesstemperatur (links). Schraffiert dargestellt sind Vergleichswerte aus dem Druckguss [3]. An den Gussproben wird bei sinkender Prozesstemperatur eine Zunahme an Kaltfließstellen beobachtet, wodurch bei den Zugversuchen der Bruch zunehmend angussfern erfolgt (rechts).

Auch Literaturwerte thixospritzgegossener Magnesiumlegierungen zeigen für AZ91D einen Abfall sowohl der Zugfestigkeit als auch der Bruchdehnung (Bild 11). Für AM60B scheint der Rückgang jedoch weniger stark ausgeprägt zu sein. Durch den geringeren Aluminium- und Zinkgehalt bilden sich bei vergleichbarem Festphasenanteil weniger Ausscheidungen als bei AZ91D, ein Effekt, der sich bei höheren Festphasenanteilen vorteilhaft auswirken könnte. Aus diesem Grund ist je nach gewünschtem Festphasenanteil eine Anpassung der Legierungszusammensetzung anzustreben.

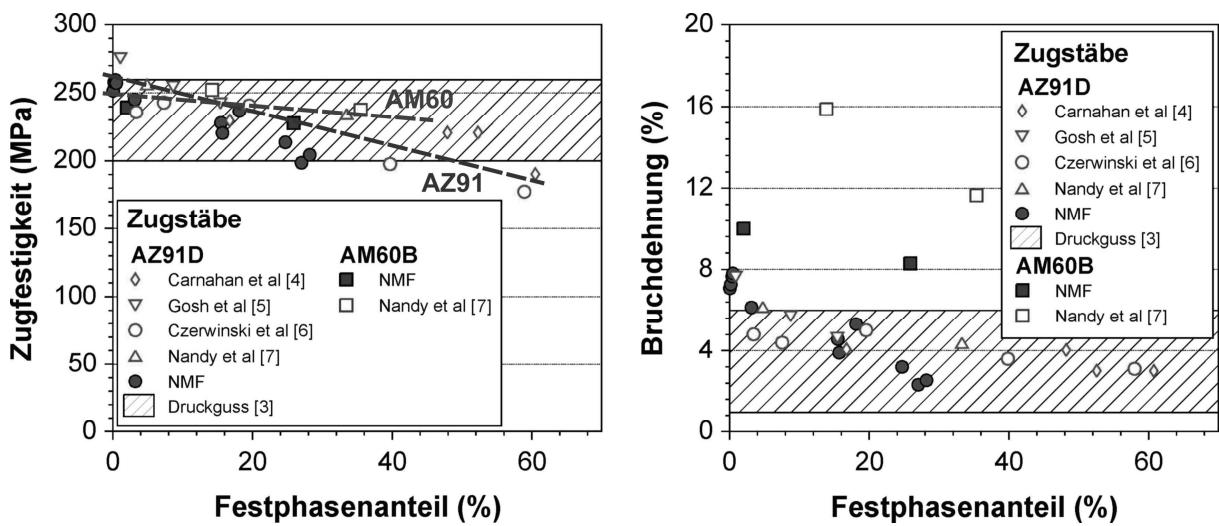


Bild 11: Zugfestigkeit (links) und Bruchdehnung (rechts) in Abhängigkeit vom Festphasenanteil im Vergleich mit Literaturdaten [13-17]. Mit steigendem Festphasenanteil kommt es bei AZ91D zu einer Verschlechterung der Werte. Für die Legierung AM60B scheint dieses Verhalten weniger deutlich ausgeprägt.

In Bild 12 ist der Einfluss des Festphasenanteils auf die Porosität eines dünnwandigen Bauteils (Nr.1) und eines Stufenprofils (Bauteil 3) aufgetragen. Während für die dünnwandige Struktur keine Veränderung der Bauteilporosität in Abhängigkeit von der Prozesstemperatur festzustellen ist, sinkt die Gesamtporosität von Bauteil 3 durch Erhöhung des Festphasenanteils um gut die Hälfte von 3 % auf 1,5 %. Die Formfüllung erfolgt bei Bauteil 3 über einen 1,5 mm dicken Querschnitt, der früher als die dickwandigen Stufen erstarrt. Dadurch kommt es zu erstarrungsbedingter Porosität, die in der Nachdruckphase nicht mehr mittels Nachpreisung ausgeglichen werden kann. Der erhöhte Festphasenanteil bei 580 °C Gießtemperatur verringert den erstarrungsbedingten Volumenschwund und führt somit zu einer geringeren Gesamtporosität.

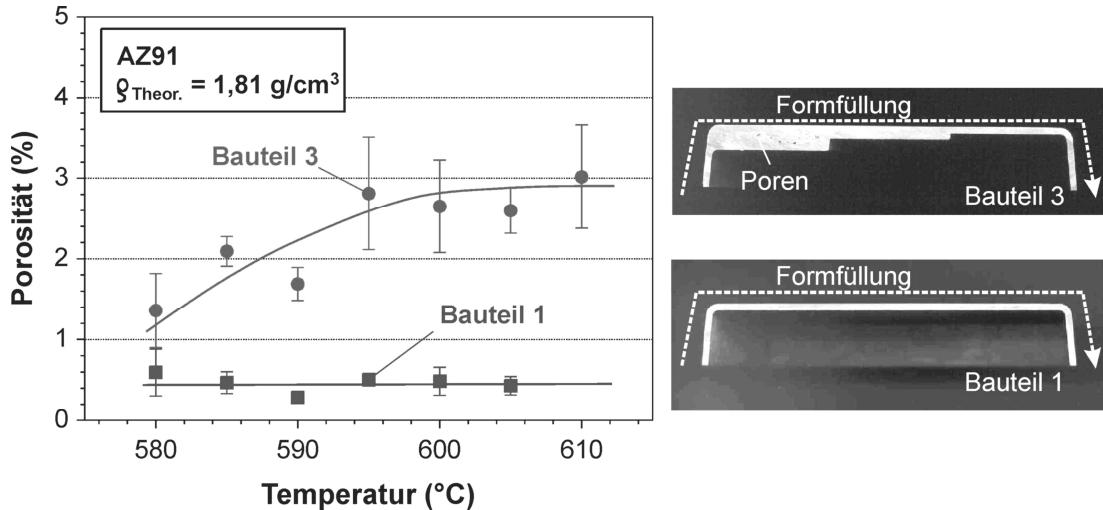


Bild 12: Porosität in Abhängigkeit von der Prozesstemperatur und der Bauteilgeometrie.

### 3.3 Formfüllsimulation von thixotropen Schmelzen

Wie eingangs erwähnt steigt mit Zunahme des Festphasenanteils die Viskosität der teilflüssigen Metallschmelze. Eine höhere Viskosität kann zu einer vollkommen veränderten Formfüllung führen (Bild 13). Während im Druckguss überwiegend die hochturbulente Rücklauffüllung auftritt, kann beim Thixospritzgießen mit erhöhtem Festphasenanteil eine geschlossene Füllfront erreicht werden.

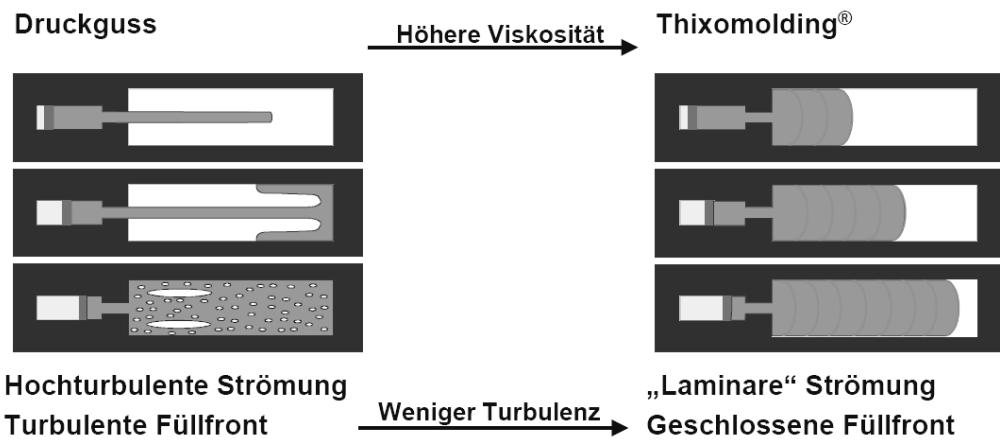


Bild 13: Unterschied der Formfüllung in Abhängigkeit von der Viskosität.

Formfüllsimulationen am Beispiel des dünnwandigen Bauteils 1 mit unterschiedlichen Viskositäten zeigen ein deutlich verändertes Fließverhalten [8]. Für vollständig flüssige Metallschmelzen (dynamische Viskosität  $10^{-3}$  Pas) eilt die Schmelze an den Rändern voraus. Dadurch wird ein nicht unerhebliches Gasvolumen in der Bauteilmitte eingeschlossen, die Ursache für unerwünschte Bauteilporosität. Dies ändert sich grundlegend durch Erhöhung der dynamischen Viskosität auf 1 Pas. Das Füllmuster hat einen laminaren Charakter und die Schmelzefront weist im Vergleich zu  $10^{-3}$  Pas eine wesentlich niedrigere freie Oberfläche auf (Bild 14, rechts). Beide Effekte tragen zur Verringerung von eingeschlossener Gasporosität und Verunreinigungen durch Oxidhäuten bei.

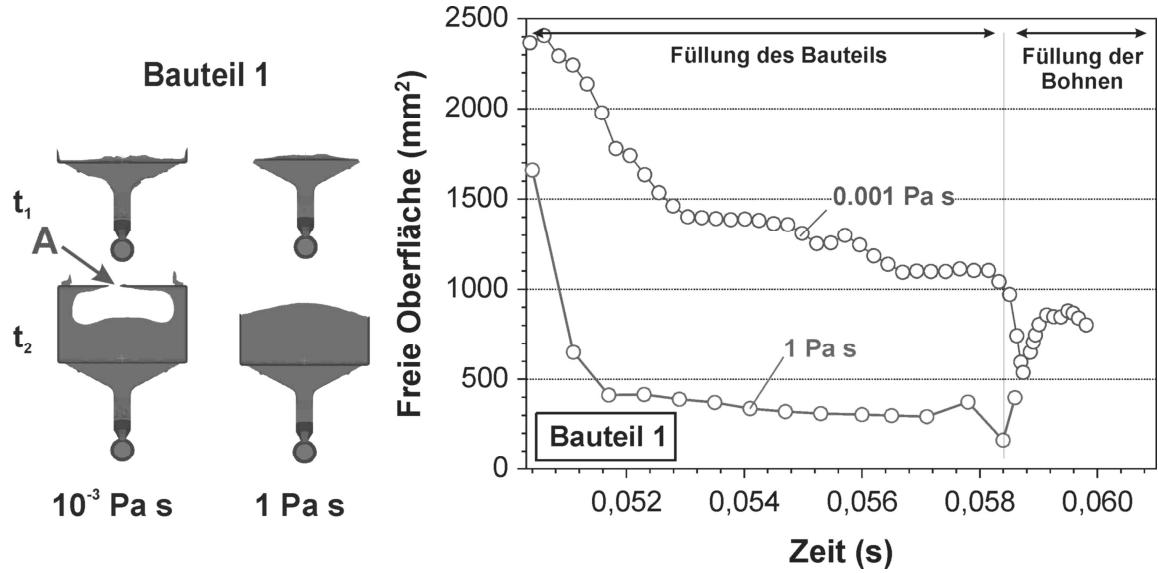


Bild 14: Durch Erhöhung der Viskosität kann die Formfüllung beim Bauteil 1 signifikant beeinflusst werden.

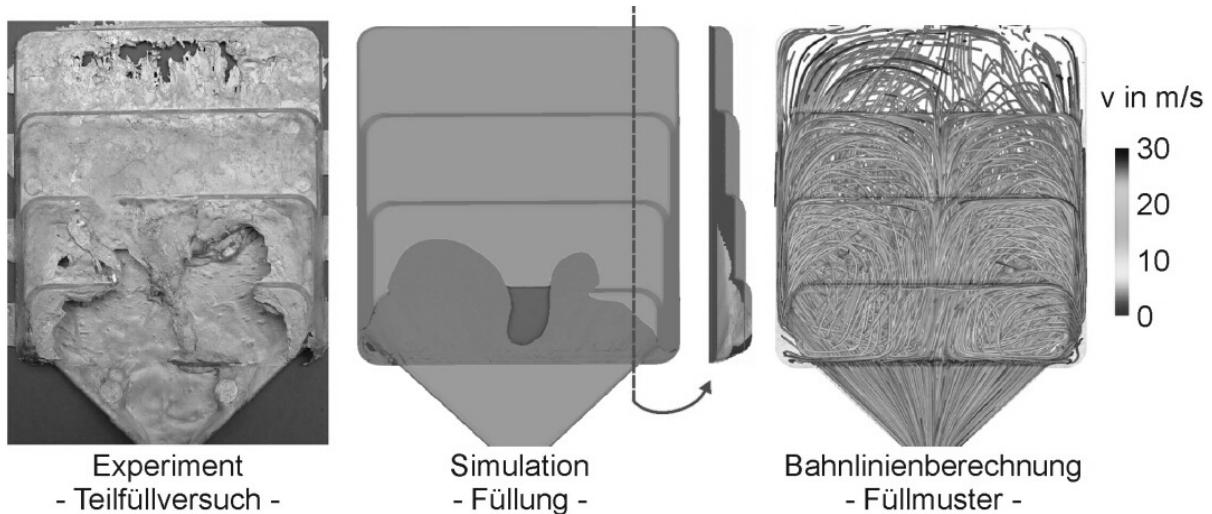


Bild 15: Die Simulation der Formfüllung für das Bauteil 6 zeigt gute Übereinstimmung mit Teilstücksversuchen.

Bei großvolumigen Bauteilen sind die Füllmuster wesentlich komplexer. An Hand der stufenförmigen Bauteilgeometrie 6 ist deutlich eine komplexere Formfüllung zu beo-

bachten. Simulationsrechnungen erfassen diese komplizierten Füllvorgänge erstaunlich realitätsnah, wie Vergleiche von Teilstückversuchen und Simulation zeigen (Bild 15). Im vollflüssigen Zustand ( $10^{-3}$  Pas) strömt die Schmelze zunächst entlang der Bauteilrückwand bis an die Oberseite und fließt nach Auftreffen an den Seitenwandungen als Rückströmung zum Anschnitt zurück. Die Füllung der dickwandigen Stufe erfolgt als letztes – dem Ort der lokal höchsten Bauteilporosität. Eine Darstellung der Bahnlinien verdeutlicht den komplexen Formfüllverlauf.

#### 4. Zukünftige Entwicklungen und Ausblick

Mit der Ankündigung der Fa. Husky Injection Molding Systems Ltd. (Canada) eine neue Modellreihe von Thixomolding®-Anlagen mit 500 t, 650 t und 1000 t Schließkraft auf den Markt zu bringen, wird das Thixospritzgießen zunehmend auch für die Automobilbranche als Anwender vorwiegend mittlere und großer Bauteilvolumen interessant. In diesem Zusammenhang sind in den letzten Jahren sowohl von der Fa. Japan Steel Works als auch von Husky Neuentwicklungen zur Verminderung von Angussmaterial vorgestellt worden. Ähnlich wie beim Kunststoffspritzguss kann dank der Heißkanaltechnik ein Großteil des Rücklaufmaterials eingespart werden. Neben finanziellen Ersparnissen auf Seiten der Primärschmelze (Material und Energiekosten) kann somit auch die Zykluszeit reduziert werden, da sich die Erstarrungszeit durch den Wegfall der dickwandigen Angussbereiche deutlich verringert.

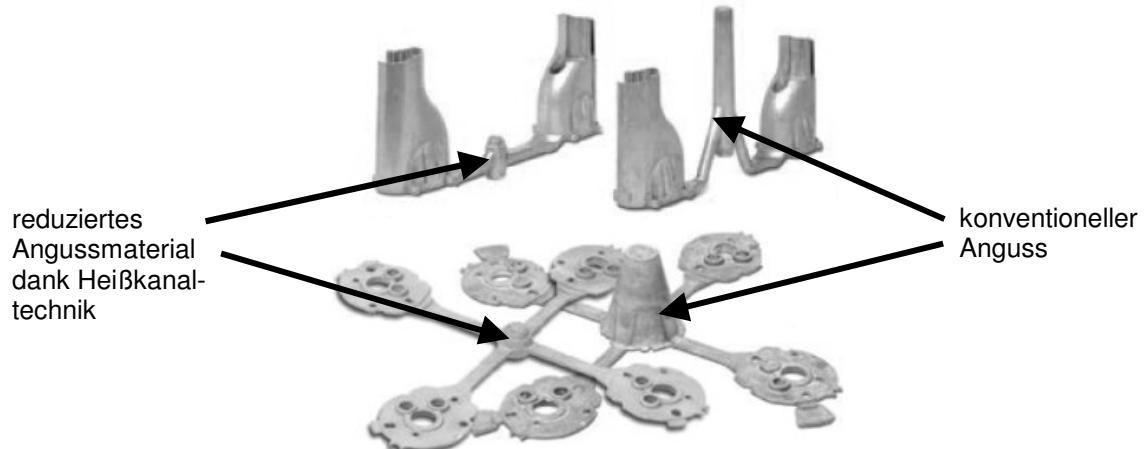


Bild 16: Durch den Einsatz der Heißkanaltechnik kann ein wesentlicher Teil an Rücklaufmaterial eingespart und die Taktzeiten können erhöht werden [9].

Die Weiterentwicklung der Heißkanaltechnik ist auch Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten bei NMF. Daneben liegt ein anderer Schwerpunkt bei der Entwicklung neuer Magnesium-Gusslegierungen speziell für den Einsatz im Thixospritzgießen. So können dank des einstufigen und geschlossenen Prozessablaufs Legierungszusätze verwendet werden, deren Verarbeitung mittels konventionellem schmelzmetallurgischen Legieren im Druckguss nicht möglich ist. So können Elemente zulegiert werden, die andernfalls im Schmelzgiegel oxidieren, seigern oder aufgrund ihres hohen Dampfdrucks abdampfen würden.

Auch auf dem Gebiet von Partikel-Verbundwerkstoffen eröffnet das Thixospritzgießen neue Freiheitsgrade, die es erlauben, Verstärkungsmaterialien in die Granulatzuführung homogen mit dem gewünschten Volumenanteil einzubringen.

## Literatur

- [1] Lohmüller, A.; Scharrer, M.; Jenning, R.; Hilbinger, M.; Hartmann, M.; Singer, R.F.; in: Kainer, K.U. (Hrsg.): 6th International Conference on Magnesium Alloys and their Applications, Wolfsburg, 18.-20. November 2003, Wiley-VCH, 2003, S.738-743
- [2] Saito, K.; Takeda, K.; Tsukeda, T.; Matsuki, S.; JSW Technical Review No.17, 1997
- [3] Andreas Stihl AG & Co KG.; Kompetenz in Magnesium Druckguss, Firmenbroschüre, 2002
- [4] Carnahan, R.; Hathaway, R; Kilbert, R.; Pasternak, L.; Rohatgi, P.; in: Proceedings of the International Symposium on Light Metals Processing and Applications, CIM, Quebec City, 1993, S.325
- [5] Gosh, D.; Kang, K.; Bach, C.; Roemer, J.G.; Van Schilt, C.; in: Proceedings of the 34 Annual Conference of Metallurgist of CIM, Vancouver, BC, 1995, S.481
- [6] Czerwinski, F.; Pinet, P.J.; Overbeeke, J.; in Magnesium Technology 2001 (ed. Hryn, J.), The Minerals, Metals and Materials Society, 2001, S.99-102
- [7] Nandy, T.K.; Wayne Jones, J.; Pollock, P.M.; Walukas, D.M.; Decker, R.F.; in: Magnesium Technology 2002 (ed. Kaplan, H.I.), The Minerals, Metals and Materials Society, 2002, S.215-220
- [8] Lohmüller, A.; Scharrer, M.; Hilbinger, M.; Jenning, R.; Hartmann, M.; Singer, R.F.; Giessereiforschung, Vol. 57, Nr.1, 2005, S.2-9
- [9] Husky Injection Molding Systems Ltd., Thixosystems, Firmenbroschüre, 2003

## Autoren

Dipl.-Ing. Harald Eibisch, Neue Materialien Fürth GmbH, Fürth (Bay.)  
Dr.-Ing. Andreas Lohmüller, Neue Materialien Fürth GmbH, Fürth (Bay.)  
Dipl.-Ing. Martin Scharrer, Neue Materialien Fürth GmbH, Fürth (Bay.)  
Dipl.-Ing. Ralf Jenning, Neue Materialien Fürth GmbH, Fürth (Bay.)  
Dr.-Ing. Michael Hilbinger, Neue Materialien Fürth GmbH, Fürth (Bay.)  
Prof. Dr.-Ing. Robert F. Singer, Neue Materialien Fürth GmbH, Fürth (Bay.)