

Simulation von Verzug und Eigenspannung im Druckguss

Ein Vergleich zwischen Simulation und Experiment.

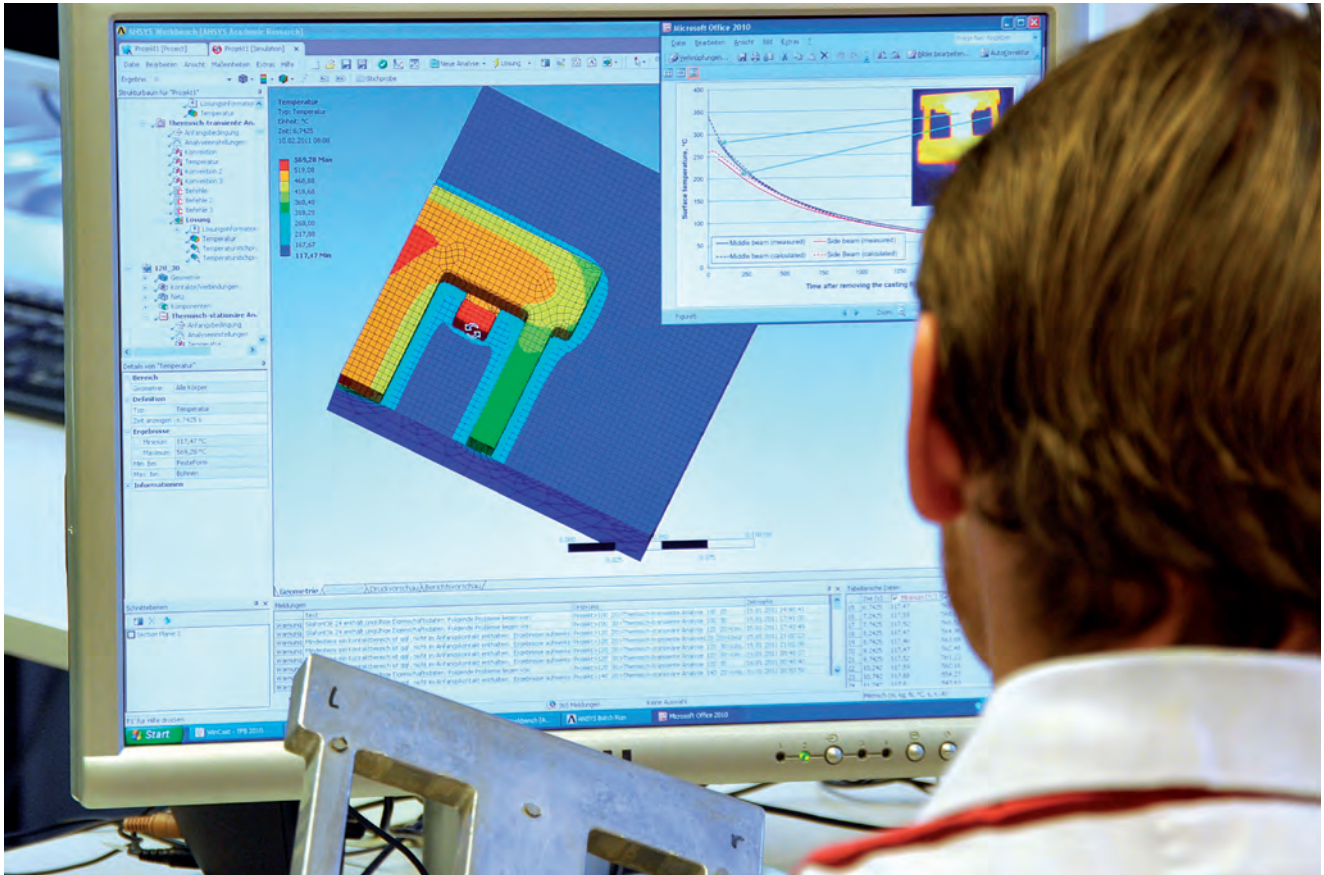


FOTO: ÖGI

Die numerische Simulation der herstellungsbedingten Schrumpfung von Gussteilen und des darausfolgenden Verzuges und der Eigenspannungen schließt die bislang bestehende Lücke zwischen der Formfüll- und Erstarrungssimulation und der Betriebslastsimulation bzw. der Auslegungsberechnung des Werkzeuges.

VON PETER HOFER, ERHARD KASCHNITZ
UND PETER SCHUMACHER, LOEBEN,
ÖSTERREICH

Während sich die Formfüllungs- und Erstarrungssimulation in den letzten Jahrzehnten als fester Bestandteil der Konstruktions- und Prozessplanung beim Druckgießen etabliert hat, ist die Simulation der Prozessschritte vor und nach dem Abgießen noch nicht Stand der Technik. Die Gründe dafür sind vielfältig. Zum einen fehlen gesicherte Eingangsdaten, zum anderen sind die Hardwareanforderungen, vor allem bei der Spannungssimulation, ungleich höher, sodass entweder eine grobe Vernetzung gewählt werden muss oder hohe Rechenzeiten in Kauf zu nehmen sind. Durch die fortschreitende Erhöhung der Rechnerleistung können jedoch zunehmend komplexere Problemstellungen in der Simulation

erfasst und in annehmbaren Zeiten berechnet werden. Es ist daher äußerst lohnend, parallel zu dieser Entwicklung neue Simulationsansätze zu erarbeiten.

Am Österreichischen Gießerei-Institut wurde ein vierjähriges Forschungsprojekt „Numerische Simulation von Verzug und Eigenspannungen in Gussteilen“ durchgeführt. Dieses Projekt wurde von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) und der Steirischen Wirtschaftsförderung (SFG) gefördert. Ziel des Projekts war die Beherrschung der numerischen Simulation von Schrumpfung und daraus folgendem Verzug und Eigenspannungen in Gussteilen, wie sie während des Produktionsvorganges entstehen. Es soll ein Lückenschluss zwischen der Formfüll- und Erstarrungssimulation und der Betriebslastsimulation bzw. der Auslegungsberechnung des Werkzeuges erfolgen [1].

Theoretische Grundlagen zur Simulation von Schrumpfung, Verzug und Eigenspannungen

Die Simulation von Eigenspannungen ist ein komplexes, aus mehreren Teilaufgaben bestehendes Problem, das auf der korrekten Abbildung der Temperaturfelder sowie der mechanischen Belastung aufgrund der Bauteilgeometrie und dem Werkstoffverhalten beruht. Durch die aus den Temperaturfeldern hervorgehenden unterschiedlichen thermischen Dehnungen in verschiedenen Form- und Bauteilbereichen sowie durch die Behinderung der freien Schrumpfung entstehen in Bauteil und Form Spannungen, welche, sofern sie die Fließgrenze des Werkstoffs überschreiten, zu plastischer Verformung und zum Verbleib von Spannungen nach vollständiger Temperaturhomogenisierung führen. Die theoretischen Grundlagen der Eigenspannungs-

mulation wurden in früheren Arbeiten ausführlich beschrieben [1, 2]. Im Bereich von Verzug und Eigenspannungen im Formguss existiert nur wenig an Literatur. Als Beispiele seien die Dissertationen von A. Egener-Walter [3], A. Fendt [4] und R. Treitler [5] sowie das Buchkapitel von J. H. Hattel und J. Thorborg [6] genannt.

Experimentelle Arbeiten und numerische Simulation

Um aus der numerischen Simulation von Verzug und Eigenspannung die für den Gießer relevanten Konstruktions- und Prozessvorgaben ableiten zu können, ist es zunächst notwendig, valide Rechenmodelle zu erarbeiten. Es besteht somit die Notwendigkeit, bei der Entwicklung der entsprechenden Modelle diese parallel mit experimentellen Daten zu vergleichen und entsprechend anzupassen.

Experimentelle Aufgabenstellungen, die sich aus diesen Anforderungen ergeben, sind die Entwicklung einfach handzuhabender Probegussteile, die Aufzeichnung von Prozessdaten während der Durchführung von Probeabgüssen sowie die Ermittlung der für die numerische Simulation notwendigen Werkstoffparameter. Es ergibt sich daher ein Arbeitsschema, welches in **Bild 1** dargestellt ist.

Über die rechnergestützte Konzeption von Probewerkzeugen und die ersten Ab-

KURZFASSUNG:
 Im Rahmen eines am Österreichischen Gießerei-Institut (ÖGI), Leoben, durchgeführten Forschungsprojektes, das die Vorhersage von Verzug und Eigenspannungen im Druckguss mittels numerischer Simulation zum Ziel hatte, wurden Konzepte zur Verifikation von Simulationsergebnissen erstellt und in die Praxis umgesetzt. Es wurden zwei druckgießgerechte Werkzeuge konzipiert und hergestellt sowie mehrere Serien von Versuchsabgüssen mit zwei Legierungen durchgeführt. Die Geometrie der abzugießenden Probegussstücke wurde so gestaltet, dass bleibender Bauteilverzug auch nach vollständigem Temperatenausgleich sichergestellt ist. Einerseits wurde ein Spannungsgitter gewählt, bei dem der Verzug durch die eigene Geometrie entsteht, andererseits eine V-förmige Schale, bei welcher der Verzug vom Gießsystem verursacht wird. An beiden Probegussstücken wurde der makroskopische Verzug (und somit die globalen Dehnungen) mittels taktile Messmethoden ermittelt. Mit Hilfe von Temperatur- und Zeitmessungen bei den Versuchsabgüssen wurden Eingangsdaten für die numerische Simulation gewonnen, aus den abgegossenen Teilen wurden Proben zur Ermittlung von thermophysikalischen und thermomechanischen Daten entnommen. Der Werkstoff AlSi10MnMg (Silafont 36) wurde vollständig charakterisiert. Mit den gewonnenen Daten wurde ein Simulationsmodell erstellt, mit dem die auftretenden Bauteilverzüge berechnet wurden. Ein qualitativer und quantitativer Vergleich zwischen Experiment und numerischer Simulation wurde gezogen. Es konnte eine gute Übereinstimmung erzielt werden.

güsse im Rahmen von Vorversuchen wurde bereits berichtet [2]. Im Folgenden wird daher von der Durchführung der Versuchsreihen, der Ermittlung thermophysikalischer und thermomechanischer Daten und der Modellbildung, der Simulationsrechnung sowie dem Abgleich von Modell und Realität berichtet. Die Erkenntnisse aus dem Abgleich von Simulation und Experi-

ment ermöglichen eine Übertragbarkeit der im einfachen Modell erarbeiteten Simulationstechniken auf komplexere Bauteile.

Durchführung und Auswertung von Versuchsabgüssen

Für die Durchführung der Versuchsreihen im Druckgießverfahren wurden Legierun-

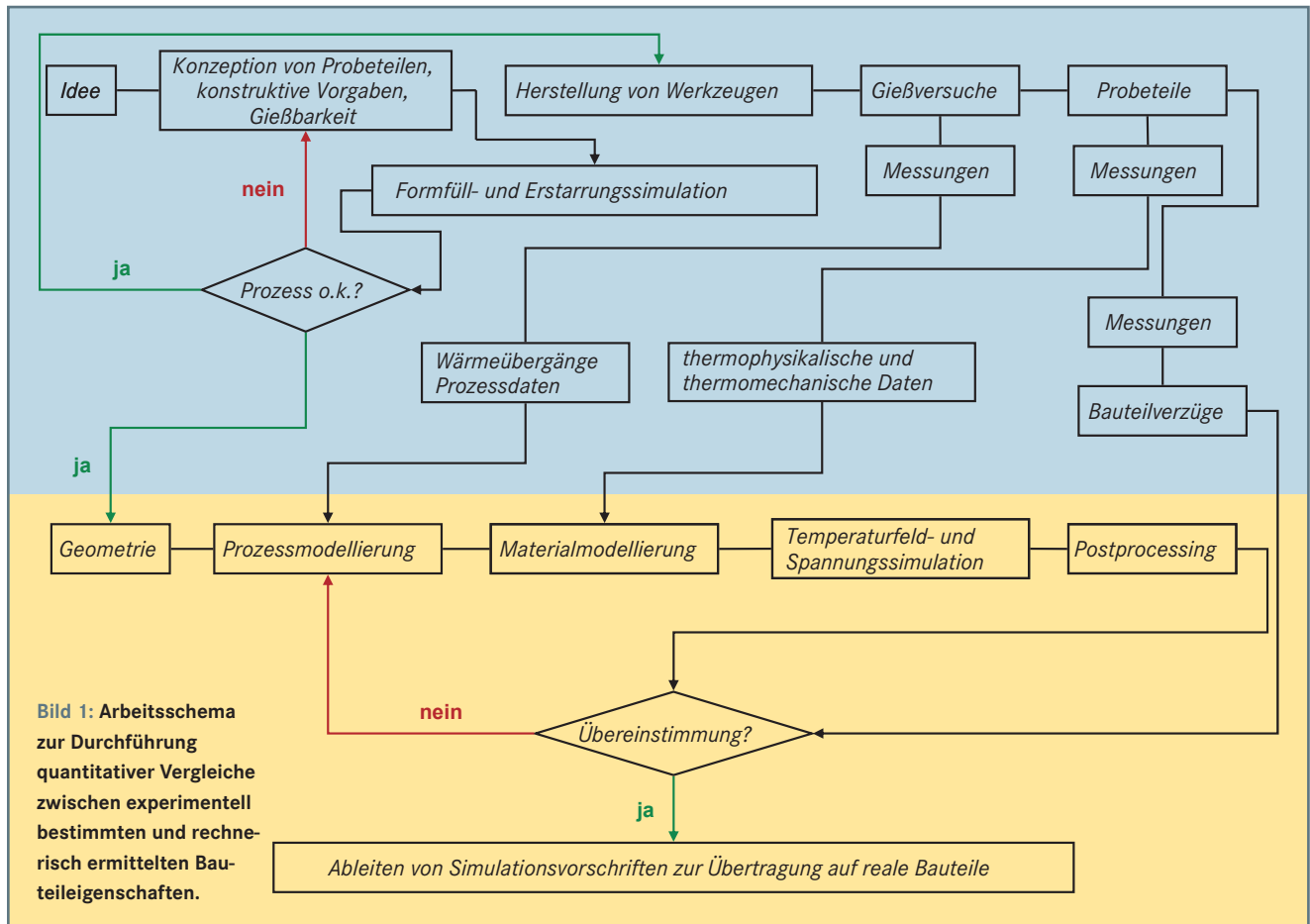


Bild 1: Arbeitsschema zur Durchführung quantitativer Vergleiche zwischen experimentell bestimmten und rechnerisch ermittelten Bauteileigenschaften.

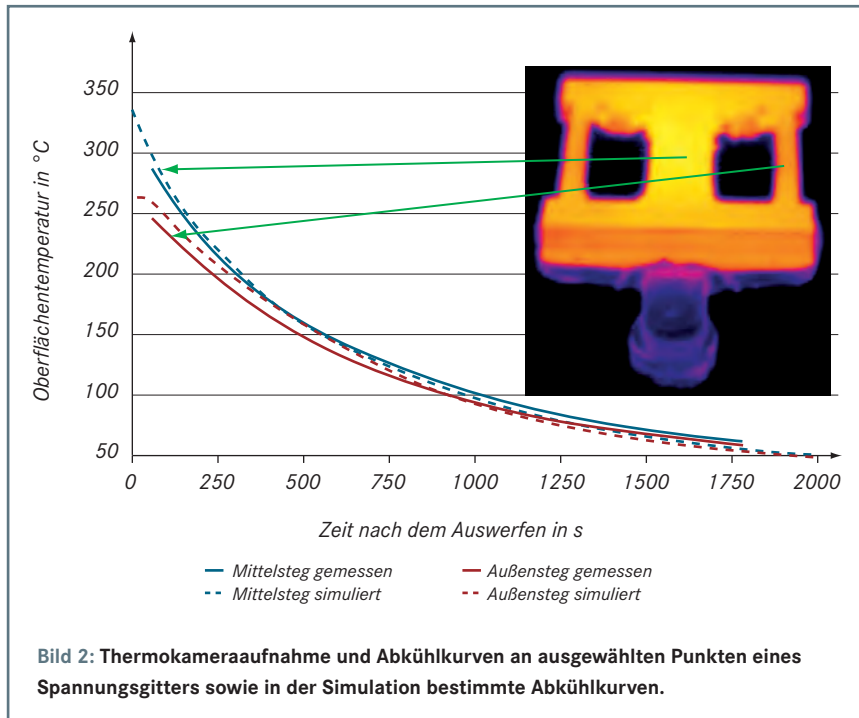


Bild 2: Thermokameraaufnahme und Abkühlkurven an ausgewählten Punkten eines Spannungsgitters sowie in der Simulation bestimmte Abkühlkurven.

gen gewählt, die nicht kaltaushärtend sind. Eine Vorversuchsreihe mit der Legierung AlSi9Cu3(Fe) (226) hat gezeigt, dass durch die Kaltaushärtung die Dehnungen nennenswert von der Zeit der Auswertung nach dem Abguss abhängen, was die Interpretation der Ergebnisse erschwert. Daher wurden die Legierungen AlSi12(Fe) (231) und AlSi10MnMg (Silafont 36) ausgewählt. Die Legierung AlSi12(Fe) dient aufgrund ihrer gut bekannten Werkstoffparameter, der guten Gießbarkeit im Druckgießverfahren und ihrem häufigen Einsatz in der Praxis als Referenz. Für die Legierung Silafont 36 wurde ein vollständiger thermophysikalischer und thermomechanischer Datensatz ermittelt. Die Versuchsabgüsse wurden mit einer echtzeitgeregelten Kaltkammer-Druckgießmaschine (Bühler SC 53) durchgeführt. Als Werkzeuge wurden der Spannungsgittereinsatz und der V-Probe-Einsatz, die in [2] beschrieben sind, verwendet. Die Gießparameter wurden im Rahmen der gießtechnischen Möglichkeiten, die beim Abgießen dieser Probeteile bestehen, verändert. Die variierten Gießparameter sind in **Tabelle 1** aufgelistet.

Bei der Kontrolle der thermischen Prozessdaten kamen zwei Thermokameras zum Einsatz. Um die Homogenität der Formtemperatur zu gewährleisten, wurde die Formtemperatur mit einer Thermokamera FLIR ThermaCam E45 kontrolliert. Zur Ermittlung der Abkühlkurven der Gussteile nach dem Auswerfen wurde die Thermokamera FLIR ThermaCam A320 verwendet. Die Messung der Abkühlkurven nach dem Auswerfen erfolgte nach sofortiger Schwärzung der Proben mit einem Graphitspray. Aus den ermittelten Abkühlkurven wurde die Tem-

peratur der Gussteile nach dem Öffnen der Form durch Extrapolation berechnet. Eine typische Thermokameraaufnahme sowie ein Vergleich zwischen gemessenen und rechnerisch ermittelten Abkühlkurven sind in **Bild 2** dargestellt. Die direkte Messung der Ausformtemperaturen ist praktisch nicht möglich. Die Temperatur der abgeschreckten Proben nach der Entnahme aus dem Wasserbad wurde ebenfalls berührungslos gemessen. Die Daten der Tempe-

raturmessung lieferten die Basis für den Abgleich der numerischen Simulation mit der Realität.

Nach den erfolgten Abgüssen wurden die Proben der Auswertung des Verzugs unterzogen. Wie bereits in [2] beschrieben, wurden bewusst nicht die Eigenspannungen, sondern der Verzug ausgewertet. Der Grund dafür ist, dass eine globale Bestimmung der Eigenspannungen bei Druckgussteilen aufgrund der durch große lokale Gradienten entstehenden primären Eigenspannungen mit den herkömmlichen Methoden (z. B. Bohrloch- oder Ringkernmethode) nicht sinnvoll erscheint. Darüber hinaus wurde bereits vor Beginn der Arbeiten festgelegt, sich nur auf globale Bauteileigenspannungen, welche makroskopischen Bauteilverzug verursachen, zu konzentrieren. Das erklärte Ziel war es, dem Gießer mit den Ergebnissen Werkzeuge in die Hand zu geben, mit denen er das Verzugsverhalten im Gießprozess beeinflussen kann.

Ermittlung thermophysikalischer und thermomechanischer Werkstoffparameter

Zur Durchführung aussagekräftiger Simulationen sind unbedingt genaue thermophysikalische und thermomechanische Daten der jeweiligen Gießlegierung notwendig. Die Legierung AlSi12(Fe) ist hinsichtlich ihrer Eigenschaften im festen sowie im flüssigen Bereich gut untersucht, sodass man auf Daten aus der Literatur zurückgreifen

Tabelle 1: Variierte Gießparameter der durchgeführten Versuchsabgüsse; jeweils die Hälfte der Proben wurde in Wasser abgeschreckt, die andere Hälfte an Luft abgekühlt.			
Legierung	Vorlauftemperatur in °C	Zuhaltezeit	
		20 s	30 s
<i>Spannungsgitter</i>			
Silafont 36	160	x	
	180	x	
	200	x	
	230	x	x
	260	x	x
AlSi12(Fe)	140	x	
	160	x	
	180	x	
	200	x	
	230	x	x
<i>V-Probe</i>			
Silafont 36	160	x	x
	180	x	x
AlSi12(Fe)	160	x	x
	180	x	x
	200	x	x

kann [7]. Aus diesem Grund erschien die Verwendung dieser Legierung in den Gießversuchen als Referenz sinnvoll. Für die Legierung AlSi10MnMg (Silafont 36) stand kein Materialdatensatz für die Werkstoffparameter bei erhöhten Temperaturen zur Verfügung. Nach den erfolgten Versuchsabgüssen wurden aus mehreren Probegussstücken Proben für die Ermittlung thermophysikalischer und thermomechanischer Werkstoffparameter entnommen. Die am ÖGI ermittelten Werkstoffparameter und das jeweilige Verfahren zu deren Bestimmung sind in **Tabelle 2** dargestellt. Die ermittelten Rohdaten aus den Versuchen wurden entsprechend den Anforderungen der verwendeten Software (ANSYS Workbench) vereinfacht und parametrisiert.

Modellierung und Simulation der Versuchsabgüsse, Modellabgleich

Zur Modellierung und Simulation der Versuchsabgüsse wurde das kommerzielle Softwarepaket ANSYS Workbench, Version 11.0 verwendet. Diese Software ist für transiente thermische und statische mechanische Simulationen zur Berechnung der komplexen Wechselbeziehungen zwischen thermischen und mechanischen Vorgängen im Gießprozess geeignet. Das Modell wurde aufgrund der kurzen Formfüllzeit im Druckgießprozess dahingehend vereinfacht, dass auf eine Berechnung der Strömung verzichtet und mit einem homogenen Temperaturfeld als Anfangsbedingung gerechnet wurde. Entsprechend der für eine genaue Berechnung notwendigen großen Anzahl von Lastschritten musste bei der Vernetzung ein Kompromiss zwischen Netzfeinheit und Rechenzeit eingegangen werden. Die Simulation gliedert sich in zwei entkoppelte Abschnitte, eine thermisch-transiente Berechnung des Temperaturfeldes und eine statisch-mechanische Berechnung der Spannungen mit mehreren Lastschritten. Das im ersten Abschnitt errechnete Temperaturfeld liefert dabei die thermischen Lasten für die mechanische Berechnung, bei der durch die inhomogene Temperaturverteilung unterschiedliche lokale Dehnungen zur Belastung der Geometrie führen. In die Modellierung des Temperaturfeldes flossen die im Verlauf der Probeabgüsse ermittelten Prozesszeiten mit ein. Darüber hinaus erfolgte anhand der aufgenommenen Temperaturkurven ein Modellabgleich, sodass die Temperaturfeldrechnung sehr gut mit den Ergebnissen aus den Versuchen übereinstimmt. Des Weiteren wurden in der thermischen Simulation zusätzlich Effekte abgebildet, welche aus den mechanischen Wechselwirkungen zwischen Gussteil und Form resultieren. Diese sind zum Beispiel das Aufschrumpfen des Gussteils auf die Form bzw. das Abschrumpfen des

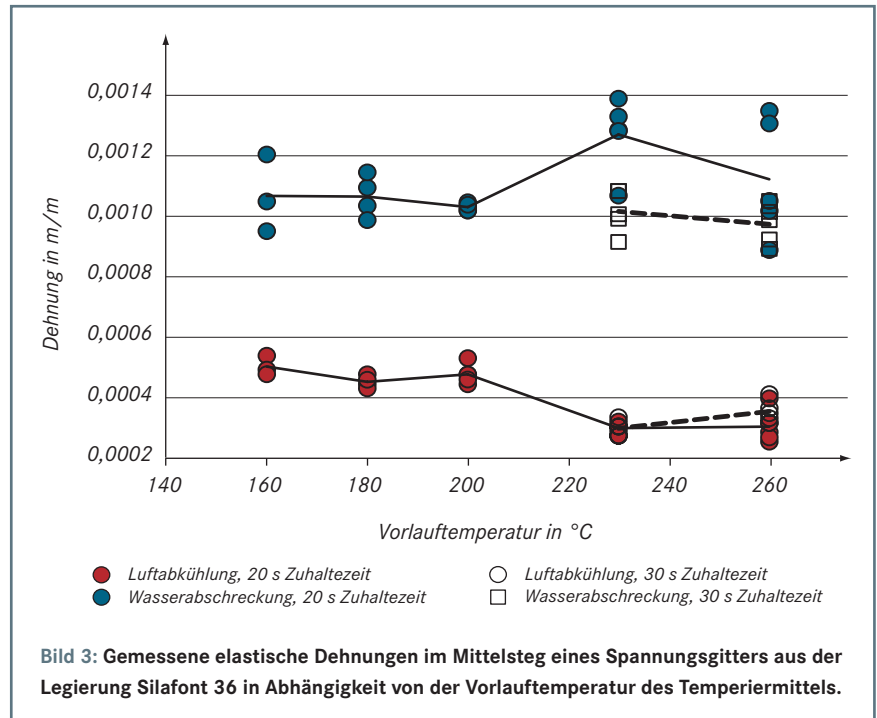


Bild 3: Gemessene elastische Dehnungen im Mittelsteg eines Spannungsgitters aus der Legierung Silafont 36 in Abhängigkeit von der Vorlauftemperatur des Temperiermittels.

Tabelle 2: Zur Durchführung einer Eigenspannungssimulation notwendige Werkstoffparameter und Methoden der Ermittlung

Parameter	Verfahren
Temperaturleitfähigkeit	Laser-Flash-Methode
Spezifische Wärmekapazität	Differential Scanning Kalorimetrie
Schmelzwärme	Differential Scanning Kalorimetrie
Dichte	Archimedisches Prinzip, Schubstangendilatometrie
Elastizitätsmodul	Elastomat (dynamisch)
Thermischer Ausdehnungskoeffizient	Schubstangendilatometrie
Elastisch-plastisches Werkstoffverhalten	Zug-Druck-Prüfmaschine mit Laserextensometer

Gussteils. Diese Wechselwirkungen waren sowohl aus theoretischen Überlegungen als auch aus den Ergebnissen erster Vorversuche heraus identifiziert worden. Da eine volle Kopplung thermischer und mechanischer Simulation extrem aufwendig und nur für einfachste Fälle überhaupt möglich ist, wurden diese Effekte durch das Angleichen der Wärmeübergangskoeffizienten nachgebildet. Aufgrund der Notwendigkeit des Einsparens von Netzelementen wurde bei der thermomechanischen Rechnung die Symmetrie der Bauteile ausgenutzt. Der Kontakt zwischen Bauteil und Gussform wurde als reibungsfrei angenommen, was bedeutet, dass das Bauteil von der Form abheben oder auf diese aufschrumpfen kann, jedoch keine Scherspannungen übertragen werden. Diese Vorgehensweise wurde deswegen gewählt, weil die zu erwartenden Hauptspannungen im Wesentlichen senkrecht auf die Formkontur gerichtet

sind, sodass nur ein kleiner Fehler zu erwarten war. Zudem ist die Abschätzung der auftretenden Reibkräfte sehr schwierig, sodass der Genauigkeitsgewinn durch die Modellierung eines reibungsbehafteten Kontaktes vermutlich gering wäre. Zusätzlich wird auch die Rechenzeit extrem in die Höhe getrieben, was durch eine geringere Netzfeinheit wieder hätte kompensiert werden müssen. In den Simulationen wurden wie in den Versuchen die Kühlmittelvorlauftemperatur und die Zuhaltezeit variiert, die Rechnungen wurden für beide Werkstoffe (AlSi12(Fe) und Silafont 36) durchgeführt.

Ergebnisse

Im Folgenden werden die Resultate der Versuche und Simulationen für das dickwandige Spannungsgitter beschrieben und gegenübergestellt.

Wie bereits erwähnt, wurden gezielt Gießparameter und Werkstoff variiert. Die vollständig abgekühlten Proben wurden mit einem Wasserstrahlschneider quer entlang des Mittelsteiges durchtrennt. Gemessen wurde die Längenänderung einer Referenzstrecke vor und nach dem Durchtrennen. Dabei wird der Mittelsteg entlastet und der elastische Spannungsanteil abgebaut. Aus dem resultierenden Verzug und dem Elastizitätsmodul des Werkstoffes wird die Dehnung

ermittelt. Bild 3 zeigt die Messergebnisse für den Werkstoff Silafont 36. Es sind die Einzelwerte aus fünf Messungen an verschiedenen Proben eingetragen. Es ergab sich, dass die Zuhaltezeit keinen signifikanten Einfluss auf die verbleibenden Eigenspannungen ausübt. Ein Einfluss der Formtemperatur ist vor allem bei luftgekühlten Teilen zwar vorhanden, aber ebenfalls gering. Einen sehr starken Einfluss hingegen übt das Abkühlregime nach dem Auswerfen (Luftkühlung oder Wasserabschreckung) aus. Die ermittelten Dehnungen für die Legierung AlSi12(Fe) liegen etwa um 40 % unter denen für Silafont 36. Dies ist auf die größere thermische Ausdehnung sowie die größere Duktilität der Legierung Silafont 36 zurückzuführen.

Die Dehnungen bei Wasserabschreckung sind deutlich (etwa um einen Faktor 2) höher als bei Luftabkühlung. Die größere Streuung der Messwerte bei abgeschreckten Proben rührt vermutlich vom manuellen Eintauchen der Gussteile ins Wasserbad her, was trotz aller Sorgfalt zu leicht unterschiedlichen Eintauchbedingungen führt. Bild 4 zeigt an einem Beispiel das Ergebnis einer Spannungsberechnung am Spannungsgitter aus der Legierung Silafont 36 nach vollständigem Temperausgleich. Global steht der Mittelsteg des Spannungsgitters unter Zug, während der Außensteg unter Druckbelastung steht. Im Zentrum des Mittelsteiges und der Seitenstege treten Zugspannungen auf, während die Randbereiche lokal druckbelastet sind. Dies ist auf lokale Eigenspannungen zurückzuführen, die aufgrund zunehmender Erstarrungszeit von außen nach innen entstehen. Dadurch gerät der Außenbereich unter Zugbelastung und wird plastisch gedehnt. Nach der Erstarrung des Mittelbereiches kann die plastische Dehnung nicht mehr vollständig abgebaut werden, sodass an der Oberfläche Druckspannungen bestehen bleiben. Bild 5 zeigt für die Legierung Silafont 36 den Vergleich zwischen gemessenen und rechnerisch ermittelten Dehnungswerten. Die Werte stimmen im Rahmen der Erwartungen gut überein.

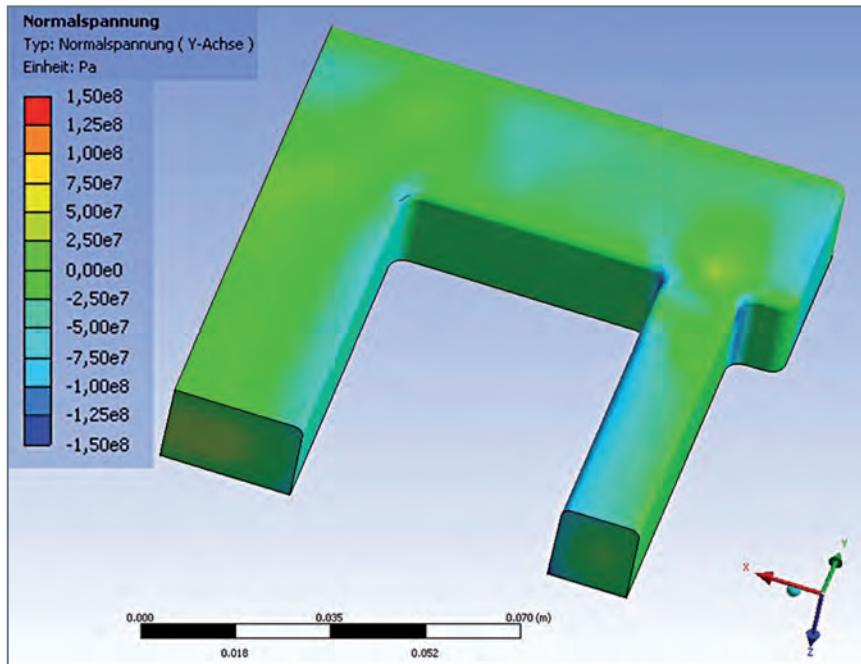


Bild 4: Berechnete Spannungsverteilung (viertelsymmetrisch) in einem Spannungsgitter nach vollständigem Temperausgleich; der Mittelsteg steht global unter Zugbelastung, der Außensteg global unter Druckbelastung; die Außenhaut der beiden Stege ist jeweils druckbelastet, was auf lokale Eigenspannungen zurückzuführen ist.

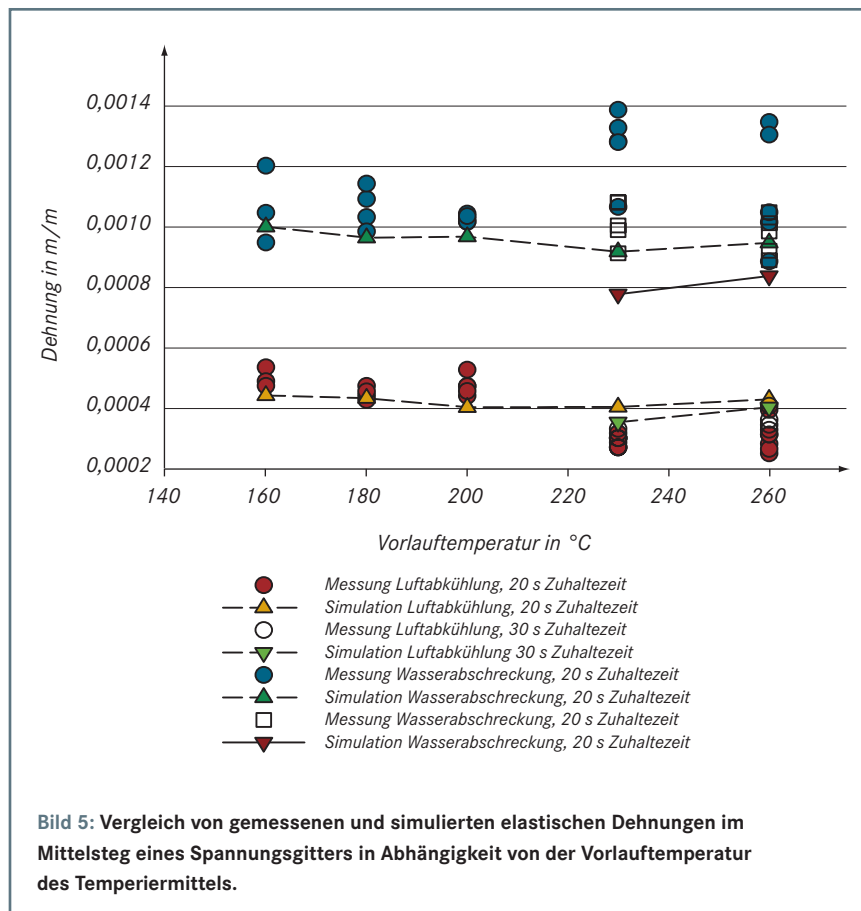


Bild 5: Vergleich von gemessenen und simulierten elastischen Dehnungen im Mittelsteg eines Spannungsgitters in Abhängigkeit von der Vorlauftemperatur des Temperiermittels.

Diskussion und Ausblick

Das Verzugsverhalten dickwandiger Druckgussteile hängt in erster Linie vom verwendeten Gusswerkstoff und vom Abkühlregime nach dem Auswerfen ab. Die Einflüsse von Formtemperatur und Zuhaltezeit sind eher gering. Dies deutet darauf hin, dass das Gießwerkzeug selbst den limitierenden Faktor bei der Wärmeabfuhr und somit auch beim Erstarrungsverhalten darstellt. Aluminiumlegierungen haben im Allgemeinen große Wär-

mekapazitäten und große Schmelzwärmen bei guter Wärmeleitfähigkeit. Die relativ schlecht wärmeleitenden Warmarbeitsstähle, wie sie heute zum Bau von Druckgießwerkzeugen eingesetzt werden, können die frei werdende Wärmemenge nicht besonders schnell abführen. Kältere Werkzeuge führen, wie die Simulation gezeigt hat, zu größeren Temperaturunterschieden zwischen dick- und dünnwandigen Bauteilbereichen, der Einfluss der Formtemperatur ist allerdings eher gering. Wie aus Bild 5 hervorgeht, steigt die Dehnung bei höheren Werkzeugtemperaturen (über 230 °C) wieder an. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Ausformtemperatur höher ist als bei niedrigeren Formtemperaturen, was mit einer geringeren Plastifizierungsgrenze einhergeht. Bei der Wahl der Formtemperatur ist daher auf zwei gegensätzliche Effekte zu achten: einerseits die größeren Temperaturunterschiede zwischen dick- und dünnwandigen Bereichen bei niedrigen Formtemperaturen, andererseits die niedrigere Fließgrenze bei höherer Ausformtemperatur. Gezielte Formtemperierung, sei es durch das Anbringen von Stichtühlungen oder die Verwendung von Formeinsätzen aus Werk-

stoffen mit höherer Wärmeleitfähigkeit kann Abhilfe gegen Bauteilverzug schaffen. Das Verhalten dünnwandiger Bauteile (V-Probe) und deren Reaktion auf die Formtemperatur sowie die Zuhaltezeit und das Abkühlregime werden derzeit untersucht. Die ersten Ergebnisse deuten darauf hin, dass bei dünnwandigen Teilen der Zuhaltezeit größere Bedeutung zukommt, da es aufgrund geringerer Wärmehalte nicht zum oben beschriebenen Wärmestau in der Form kommt.

Diese Arbeit wurde mit Mitteln der Österreichischen Forschungsförderungs-Gesellschaft (FFG), der Steirischen Wirtschaftsförderung (SFG) und des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert, das Einsatzmaterial für die Gießversuche wurde von der Salzburger Aluminium AG (SAG), Lend, bereitgestellt, wofür herzlich gedankt sei.

*Dipl.-Ing. Peter Hofer, Univ. Prof. Peter Schumacher, Dipl.-Ing. Dr. Erhard Kaschnitz, Österreichisches Gießerei-Institut, Leoben, Österreich
Erstveröffentlichung: Giesserei-Rundschau (2010) Nr. 9/10.*

Literatur:

- [1] *Giesserei-Rundschau* 52 (2005) Nr. 7/8, S. 176-178.
- [2] *Giesserei-Rundschau* 55 (2008) Nr. 9/10, S. 190-193.
- [3] Egner-Walter, A.: *Simulation des Entstehens von Eigenspannungen in Gussteilen*. Shaker Verlag, Aachen, 1998.
- [4] Fendt, A.: *Einfluss der Wärmebehandlung auf den Eigenspannungszustand von Gussteilen*. Dissertation, TU München, 2001.
- [5] Treitler, R.: *Vom Gießprozess zur Festigkeitsberechnung am Beispiel einer Aluminium-Magnesium-Druckgusslegierung*. Dissertation, Universität Karlsruhe, 2005.
- [6] Hattel, J. H.; Thorborg, J.: *Modelling of stresses and strains in casting*. In: *Fundamentals of numerical modelling of casting processes*. Hattel, J. (ed.). Polyteknisk Forlag, Lyngby, Sweden, 2005. S. 343-533.
- [7] Mills, K. C.: *Recommended values of thermophysical properties for selected materials*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK, 2002.

Alles aus einer Hand



für den Druckguss



Hannover Messe
04.-08. April 2011
Besuchen Sie uns in
Halle 4, Stand E42

LUBRODAL® wassermischbare Trennmittel für Aluminium, Zink, Magnesium u. a.

HYKOGEE® Öle, Pasten, Schlichten

PISTON POWDER feste Kolbensmierstoffe

ENTWICKLUNG + PRODUKTION + SERVICE

Die LUBRODAL DIVISION von FUCHS LUBRITECH hat das komplette Sortiment hochwertiger Trenn-, Schmier- und Hilfsstoffe. Ein engagiertes Team von Fachleuten berät Sie gern bei Auswahl und Applikation unserer Produkte. Fragen Sie uns!

FUCHS LUBRITECH GMBH/LUBRODAL DIVISION

Werner-Heisenberg-Str. 1 Tel. +49 (0) 6301 3206-0
67661 Kaiserslautern / Germany Fax +49 (0) 6301 3206-940 E-Mail info@fuchs-lubritech.de



www.fuchs-lubritech.com