

Teilprojekt B8

Titel

Untersuchung präzisionsbestimmender Faktoren zur Minimierung von Verzug im Kokillen- und Druckgussprozess

Projektleitung/-bearbeitung

Bührig-Polaczek, Andreas, Prof. Dr.-Ing.
Gießerei Institut — Projektleitung

Dipl.-Ing. Nino Wolff
Gießerei Institut — Projektbearbeitung

Aufgabenstellung

Für die Bestimmung der präzisionsbeeinflussenden Faktoren, entkoppelt von geometrisch bedingter Beeinflussung, lag im dritten Jahr der Projektschwerpunkt auf Versuchen an einem rotationssymmetrisches Demonstrationsbauteil zur Bestimmung der Wärmeübergangskoeffizienten bei verschiedenen Abkühlbedingungen. Ferner wurde als Erweiterung eine Kokille für ein geometrisch komplexes Versuchsbauteil zur Untersuchung des Bauteilverzuges und Analyse der präzisionsbeeinflussenden Faktoren in Betrieb genommen und erste Versuche durchgeführt.

Vorgehensweise

Im vorangegangenen Projektjahr wurden in dem vorab konzeptionierten und in Betrieb genommenen Versuchsaufbau Gussversuche an einem rotationsymmetrischen Versuchsbauteil durchgeführt. Diese Versuche boten die Möglichkeiten die präzisionsbestimmenden Faktoren im Kokillenguss vorerst ohne geometrisch bedingte Einflüsse zu erforschen. Der hierfür entwickelte Versuchsstand (*Abb. 1*) ermöglicht dabei die in-situ Analyse von Druckverläufen, Temperaturverläufen und Verschiebungen zwischen Gussteil und Kokillenwand. Die

Verschiebungen zwischen Gussteil und Kokillenwand werden in dem Versuchsstandkonzept von LVDT-Messzellen (Linear Variable Differential Transformer) thermisch entkoppelt über ausdehnungsneutrale Quarzglasstäbe erfasst. Über eine ebenfalls thermisch entkoppelte Lastzelle können Kontaktdrücke zwischen Gussteil und Kokillenwand in-situ aufgenommen werden. Die Temperaturverläufe werden über den Gießprozess mittels Thermoelementen in der Kokille und dem Gussbauteil gemessen. Die Anordnung der Thermoelemente ermöglicht zudem die Differenzierung der lokalen Abkühlraten und hierrüber örtlich aufgelöst die Schrumpfungsbedingung im Erstarrungsprozess. Aus den aufgezeichneten Daten lässt sich der, mit der Bildung eines Luftspaltes zwischen Gussteil und Kokillenwand veränderliche, Wärmeübergangskoeffizient — Heat Transfer Coefficient (HTC) bestimmen. Anschließende Gefügeuntersuchungen stellen ein weiteres Glied in der Kette der erfassten Prozessgrößen dar. Ein als rotations-symmetrisches Versuchsbauteil gegossener Napf mit Zentralanguss ist in *Abb. 2* zu sehen, Links als Gussteil und rechts als Anschnitt.

Für die Versuchsreihen wurde eine industrieübliche korngefeinte und veredelte A356 (ALSi7Mg0,3) Legierung verwendet. Es wurden zu folgenden Parametern Versuchsreihen durchgeführt:

- Verschiedene Formtemperierungen (30 – 300 °C).
- Unterschiedliche Formmaterialien, Warmarbeitsstahl 1.2343 (CrMoV5-1) und Kupfer CuZr1.
- Konventionell gefertigte Kokilleneinsätze sowie generativ gefertigte Kokilleneinsätze mit oberflächennahen konturangepassten Kühlkanälen, zur Erzeugung unterschiedlicher Temperaturgradienten im Gussteil, siehe *Abb. 3*.
- Verschiedene Kernmaterialien: Ein Stahlkern im Vergleich mit einem Sandkern, mit den aus den unterschiedlichen Materialien herrührenden Effekten, wie z. B. einem anderen Wärmehaushalt und unterschiedlichen Widerständen beim Aufschrumpfen des Gussstückes.

- Verschiedene Schichten und deren Zeitverhalten sowie im Vergleich eine Beschichtung der Form mit plasmagespritztem YSZ (Yttrium stabilisiertes Zirkonoxid) des Institutes für Oberflächentechnik (IOT) aus dem Teilprojekt A10.

Die gewonnenen Erkenntnisse aus der Entwicklung und dem Betrieb des rotationssymmetrischen Versuchstandes wurden in einem iterativen Prozess zur Gestaltung des Versuchsbauteils mit komplexer Geometrie aufgegriffen. Hierbei wurde als weitere präzisionsbestimmende Einflussgröße die Bauteilgeometrie in die Untersuchungen mit einbezogen. Die so entwickelte Kokille ermöglicht durch ihren modularen Aufbau sowohl die individuelle Temperierung der verschiedenen Formbereiche, als auch deren Tausch. Der dafür geänderte Versuchsaufbau ist in *Abb. 4* zu sehen. Die Kokille wurde in Betrieb genommen und eine erste Versuchsreihe mit lokaler Variation der Formtemperierung durchgeführt, sowie deren Einfluss auf den Bauteilverzug dokumentiert. Weiterhin wurde in einer Kooperation mit dem Teilprojekt B1 des IKV der dort entwickelte Algorithmus zur Optimierung von Kühlkanallayouts adaptiert und begleitende Simulationen durchgeführt. Die Resultate dieser Untersuchungen wurden in entsprechenden generativ hergestellten Kokilleneinsätzen umgesetzt.

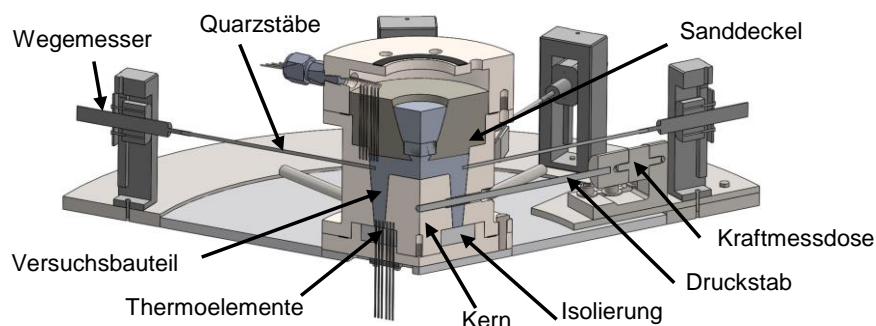


Abb. 1 Ausschnittdarstellung des Versuchstandes für eine rotationssymmetrisches Versuchsbauteil zur HTC Bestimmung

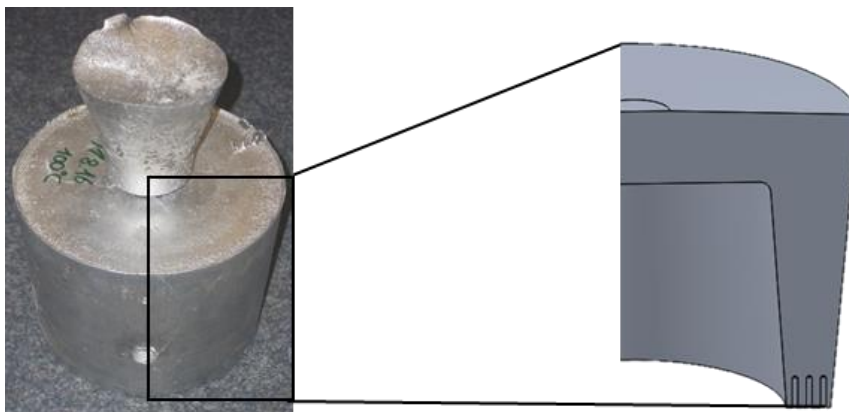


Abb. 2 Links ein gegossener napfförmiger Probenkörper und rechts der entsprechende Ausschnitt

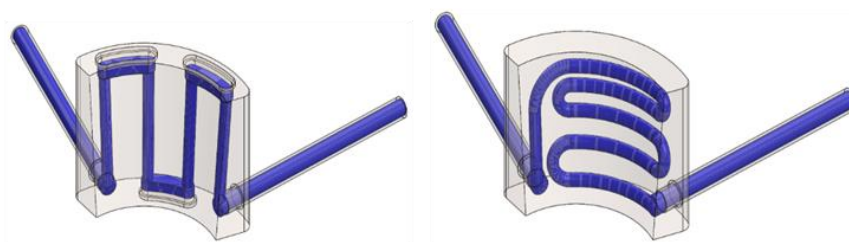


Abb. 3 Skizzen der wechselbaren Kokilleneinsätze zur Erzeugung verschiedener Temperaturgradienten durch unterschiedliche Temperierkanäle (blau). Links konventionell und rechts generativ gefertigt.

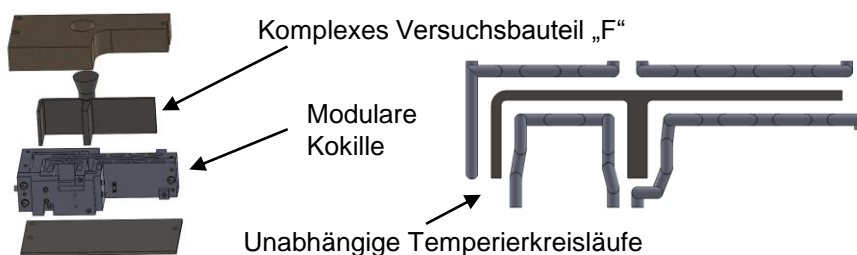


Abb. 4 Aufbau der Versuchskokille für das komplexe versuchsbauteil „F“ (links) und Anordnung der individuellen Temperierkreisläufe (rechts).

Ergebnisse

Aus den Versuchen am rotationssymmetrischen Bauteil, mit verschieden eingestellten Kokillentemperaturen von 30 bis 300 °C, konnten die sich jeweils ergebenden örtlichen Abkühlkurven ermittelt werden, welche in *Abb. 5* für eine Stelle

im oberen Bereich des Napfes dargestellt sind. In *Abb. 6* sind die aufgezeichneten Temperaturverläufe für 100 °C Formtemperatur, die daraus ermittelten Temperaturen der Grenzflächen und im Spalt sowie der entstandene Luftspalt zu sehen. Der sich aus dem Zusammenhang zwischen Temperaturen und sich bildendem Spalt abzuleitende Wärmeübergangskoeffizient ergibt sich für die vier untersuchten Abkühlbedingungen, wie in *Abb. 7* zu sehen ist. Für den Bereich des Aufschumpfens des Versuchsteils auf den Kern ergibt sich gleichzeitig ein druckabhängiger Wärmeübergangskoeffizient. Dieser ist in *Abb. 8* (links) über dem Kontaktdruck dargestellt, ebenso wie der zugehörige spaltabhängige (rechts) über der Spaltbreite. Da beide Werte als fest-fest Kontakt ermittelt wurden ist der Bereich des Übergangs aus dem fest-flüssig Kontakt als unterbrochene Linie gekennzeichnet.

Die jeweiligen Anteile der in den Versuchsreihen variierten Parameter am effektiven gesamt HTC werden mittels einer Sensitivitätsanalyse quantitativ bestimmt. Die gewonnen Erkenntnisse zur Erstarrung, Temperaturen, Wärmeübergängen und Gefüge werden zudem in Kooperationen mit den simulativen Teilprojekten B7 und B9, zum Abgleich mit den numerischen Ergebnissen, ausgetauscht.

Die Versuchsreihe am komplexen Versuchsbauteil zeigt eine Beeinflussbarkeit des Bauteilverzuges durch unterschiedliche Formtemperierung in verschiedenen Formbereichen, siehe *Abb. 9* und *Tabelle 1*. Überdies stellte sich das Bilden von Heißrissen als weiteres Präzisions- und Qualitätskriterium bei Bauteilen komplexerer Geometrie heraus (siehe *Abb. 10*). Aus der Kooperation mit TP B1 ließ sich eine optimierte Kühlkanalgeometrie für die Kokille ermitteln, die eine homogenere Temperaturverteilung als bei herkömmlich ausgelegter Temperierung liefert. Ein Vergleich der sich in der Form einstellenden Temperaturfelder nach Erstarrung ist in *Abb. 11* dargestellt.

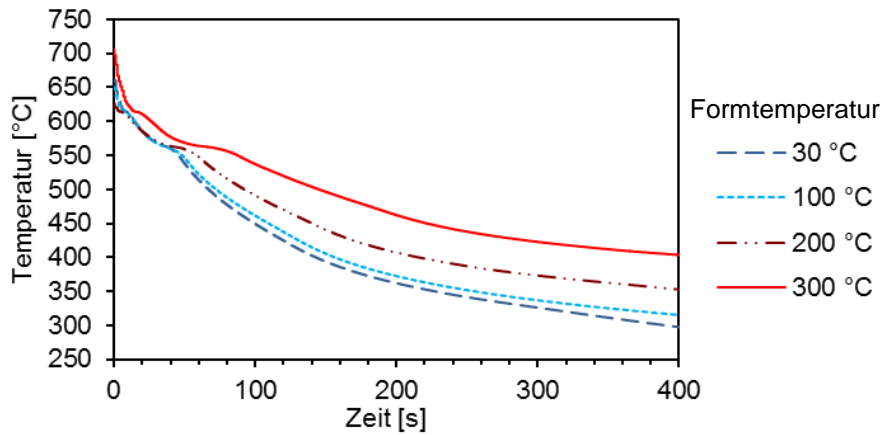


Abb. 5 Temperaturverläufe bei verschiedenen Kokillentemperaturen im Gussteil

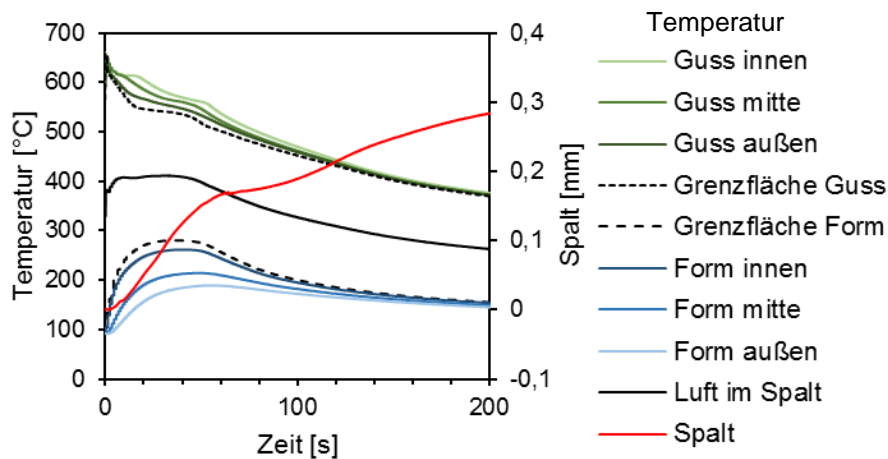


Abb. 6 Entwicklung des Luftspaltes mit den zugehörigen Temperaturen im gegossenen Probekörper und in der Form für eine Formtemperatur von 100 °C

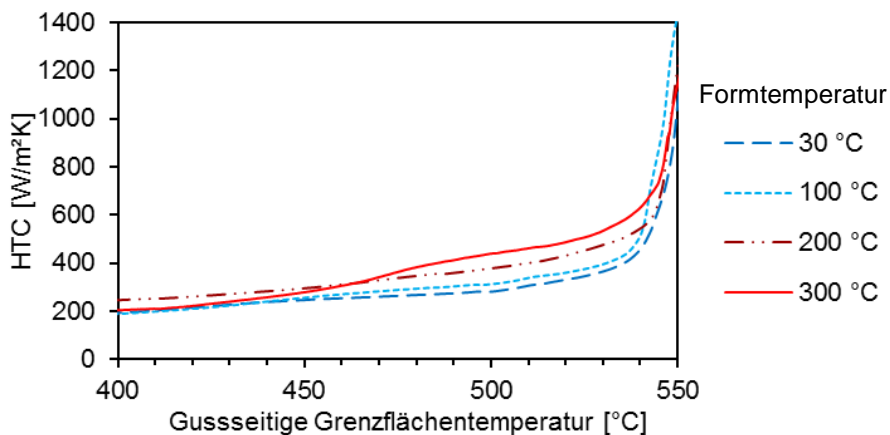


Abb. 7 Wärmeübergangskoeffizienten durch den Luftspalt für verschiedene Formtemperaturen

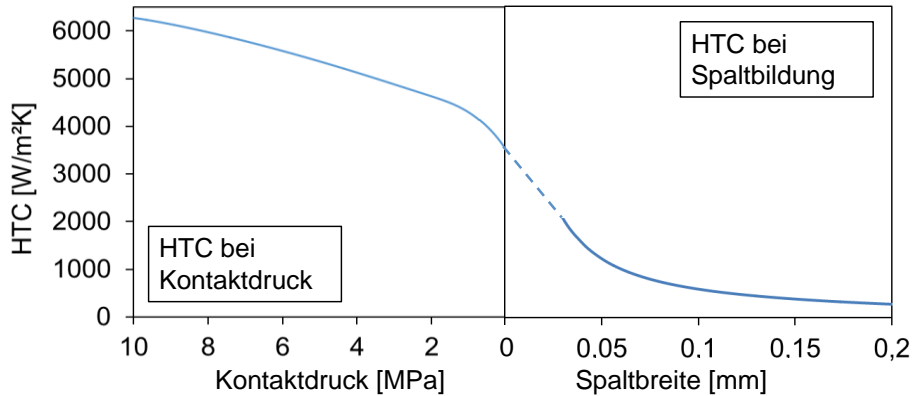


Abb. 8 Wärmeübergangskoeffizient als Funktion des Kontaktdrucks bei 300 °C Kokillentemperatur (links) und als Funktion der Spaltbreite (rechts) sowie anfänglicher Wert des Wärmeübergangskoeffizienten interpoliert zwischen Kernseite und Kokillenseite

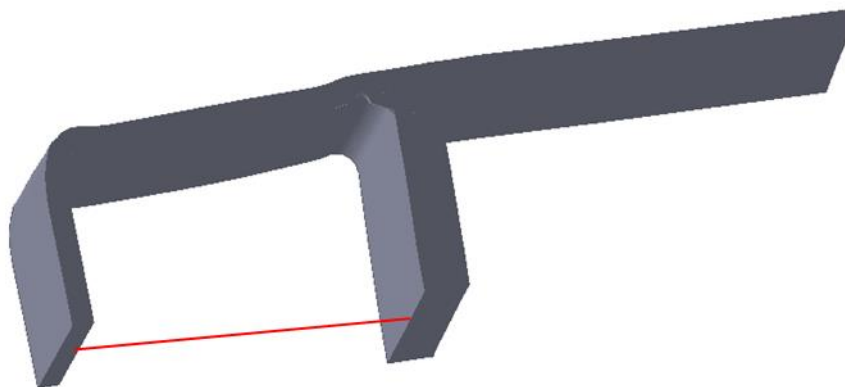


Abb. 9 Verzogenes Versuchsbauteil mit markierter Messstelle

Tabelle 1 Sich ergebende verzüge für unterschiedliche Temperierungen um den Umfang des Bauteils

außen [°C]	innen [°C]	Verzug [mm]
150	150	0,65
30	30	0,73
30	300	1,00
300	30	0,72

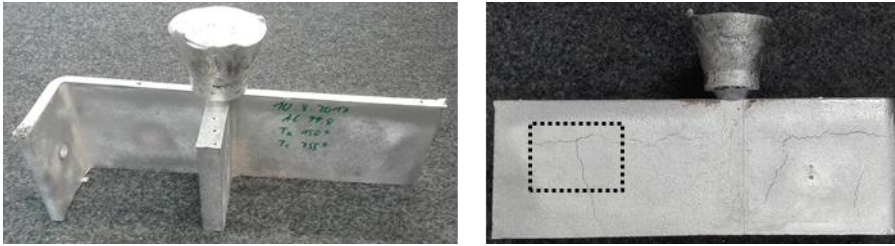


Abb. 10 Komplexes versuchsbauteil und durch Anpassung der Legierung erzeugte Heißrisse

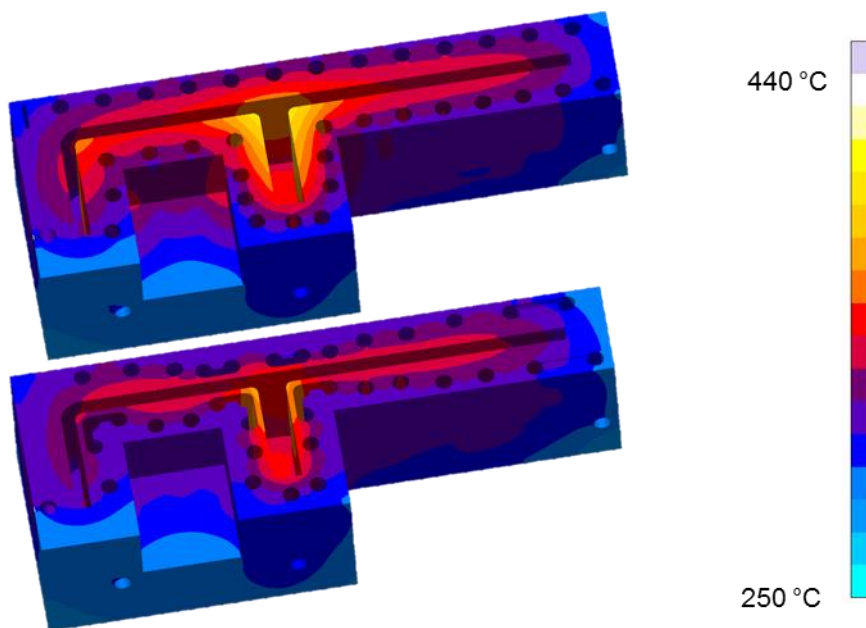


Abb. 11 Simulation der Temperaturverteilung, nach Erstarrung des Bauteils, links mit konventionellen und rechts mit numerisch optimierten Kühlkanälen

Zusammenfassung und Ausblick

Der in Betrieb genommene Versuchsstand hat in seiner ersten Ausbaustufe die Ermittlung der präzisionsbestimmenden Faktoren an einem rotationssymmetrischen Prinzipbauteil ohne geometrisch bedingte Beeinflussung ermöglicht. Die daraus hervorgegangenen Ergebnisse konnten im weiteren Projektverlauf durch flexible Temperierkonzepte, verschiedene Formbeschichtungen oder Formwerkstoffvariationen etc. vertieft und erweitert werden.

Die gewonnenen grundlegenden Erkenntnisse konnten anschließend genutzt werden, um am Versuchsbauteil mit komplexer Geometrie die Möglichkeiten zur Einflussnahme auf den Bauteilverzug zu untersuchen.

Als weitere Schritte werden die gewonnenen Erkenntnisse in eine umfassende Datenbank überführt, anhand derer mittels einer Korrelationsanalyse die verschiedenen Eingangsparameter hinsichtlich ihrer Bedeutung für Verzugs- und Heißrissbildung betrachtet werden. Daraus können die Wirkzusammenhänge und Wechselwirkungen abgeleitet und quantifiziert werden. Dies wird es ermöglichen, Steuerungskonzepte zur Verzugs- und Heißrissminimierung zu erarbeiten.

Veröffentlichungen

Ahmadein, M.; Pustal, B.; Wolff, N.; Bührig-Polaczek, A.: *Determination and Validation of the Gap Dependent Heat Transfer Coefficient during Permanent Mold Casting of A356 Aluminum Alloy*, Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 48, Heft 12, 2017

Wolff, N.; Pustal, B.; Vossel, T.; Laschet, G.; Bührig-Polaczek, A.: *Development of an A356 Die Casting Setup for Determining the Heat Transfer Coefficient Depending on Cooling Conditions, Gap Size, and Contact Pressure*, Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 48, Heft 12, 2017

Laschet, G.; Vossel, T.; Wolff, N.; Apel, M.; Bührig-Polaczek, A.: *Multiscale solidification simulation of an axisymmetrical A356 component in die casting*, SP17 conf. Paper, 2017

Hopmann, Ch.; Bührig-Polaczek, A.; Schneppe, T.; Wolff, N.; Theunissen, M.: *Investigation on the transferability of algorithms for the numerical optimization of cooling channel design in injection molding on metal gravity die casting*, Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 48, Heft 12, 2017

Andere Veröffentlichungen:

Wolff, N.; Pustal, B.; Vossel, T.; Laschet, G.; Bührig-Polaczek, A.: *Entwicklung eines Versuchsaufbaus mit adaptiver Kühlung und Ermittlung des spalt- und kontaktdruckabhängigen Wärmeübergangskoeffizienten*, Gießerei Special, 2, 123-126, 2017



Ahmadein, M.; Wolff, N.; Pustal, B.; Bührig-Polaczek, A.: *Parameteridentifikation für ein spalt- und druckabhängiges Wärmeübergangsmodell für unterschiedliche Abkühlbedingungen im Dauerformguss*, Gießerei Special, 2, 126-129, 2017

Pustal, B.; Benken, H.; Vossel, T.; Laschet, G.; Wolff, N.; Bührig-Polaczek, A.: *Modellierung des Verzugs eines oberflächennah gekühlten A356 Gussteils mit unterschiedlichen Wärmeübergangs- und Erstarrungsansätzen*, Gießerei Special, 2, 134-137, 2017