

FOTO: GTP SCHÄFER / FLOW SCIENCE DEUTSCHLAND



Realistische Simulation des Abbrennens exothermer Speiser

Verlauf des Brennvorgangs in exothermen Speisereinsätzen. Vergleich zwischen der Realität und der Simulation.

VON MALTE LEONHARD, MATTHIAS TODTE, ROTTENBURG UND JÖRG SCHÄFER, GREVENBROICH

Die Verwendung von Speisern ist im Schwerkraftguss in der Regel nicht vermeidbar, stellen die Konstrukteure jedoch immer wieder vor einen Konflikt: Die Dimension und Anzahl der Speiser sollte groß genug gewählt werden, um prozesssicher Schrumpfungslunker zu verhindern. Andererseits möchte man das Speisergewicht minimieren, um möglichst wenig Kreislaufmaterial, Energie und Bearbeitungskosten zu verursachen. Die zunehmende Komplexität von Gussbauteilen erhöht zusätzlich den Anspruch an die Entwicklung. Hochexotherme Speisersysteme haben immer weiter an Bedeutung gewonnen, da diese platzsparender und leistungsstärker sind als die traditionellen Naturspeiser.

Bei den Speisersystemen unterscheidet man zwischen isolierenden und exothermen Speisermaterialien. Bei den isolierenden Speisern wird eine Verlängerung der Erstarrungszeit der im Speiser

befindlichen Schmelze durch einen Speiserkorpus erreicht, dessen Wärmeleitfähigkeit deutlich unter dem des Formstoffes liegt. Die Schmelze bleibt somit länger flüssig und steht dem Knotenpunkt zum Ausgleich der Schwindung zur Verfügung. Eine Reduzierung der Speisergöße lässt sich durch die Verwendung eines exothermen Kappenmaterials erreichen. Hierbei findet nach Überschreiten der sog. Zündtemperatur eine exotherme Reaktion des Kappenmaterials statt. Die Schmelze wird durch die dabei frei werdende Wärme aufgeheizt und bleibt länger flüssig [1]. Exo-

therme Speisersysteme sind daher sehr effizient und können bei wenig Volumen das Gussteil lange mit flüssiger Schmelze versorgen.

Wo früher einfache Formeln der geometrischen Modulberechnung verwendet wurden, stehen dem Gießer heutzutage Gießsimulationen zur Verfügung, die unter anderem das thermische Modul sowie die Erstarrungsmorphologie von Bauteilen vorhersagen können und damit bei der Speiserauslegung hilfreich sind. Gerade in der Auswahl und Dimensionierung geeigneter Speiser sind Simulationen ein

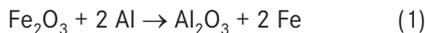
KURZFASSUNG:

Im Eisenguss finden exotherme Speisereinsätze immer mehr Anwendung und sind mittlerweile die meistverwendete Speisungsvariante. In der Simulation werden bisher die exothermen Speiser lediglich anhand einfacher Ersatzmodelle beschrieben, die eine definierte Energie über das gesamte Volumen freisetzen. Die Flow Science Deutschland GmbH hat in Kooperation mit der GTP Schäfer GmbH ein Modell entwickelt, das eine realistische Simulation des Abbrennens von exothermen Speisern ermöglicht. Mit Hilfe von Gießversuchen konnte gezeigt werden, dass die Abweichungen der Simulationsergebnisse von den Versuchsergebnissen im Bereich der Messgenauigkeit liegen.

wirkungsvolles Tool, um effiziente Lösungen zu finden. Die wachsenden Anforderungen an digitale Auslegungen und die Verwendung von Gießsimulationen werden immer wieder thematisiert und die Methoden sind mittlerweile fester Bestandteil der meisten Entwicklungsprozesse in Gießereien. Bei Natur- und isolierenden Speisersystemen ist die numerische Beschreibung genau und es lassen sich verlässliche Ergebnisse erzielen. Die Modelle waren bisher jedoch noch nicht in der Lage, die Vorgänge bei der Verwendung von exothermen Speisersystemen genau genug vorherzusagen, was in der Praxis zu Überdimensionierung der Speiser und damit zu unwirtschaftlichen Lösungen führte. Da exotherme Speiser mittlerweile die meistverwendete Speiservariante im Eisenguss darstellen, ist die Motivation, das Brennverhalten der exothermen Speisermassen möglichst genau in Simulationsprogrammen abzubilden, entsprechend hoch. Mit dem von GTP Schäfer und Flow Science Deutschland gemeinsam entwickelten Modell ist es nun erstmals möglich, das Brennverhalten der Speiserkappe, das heißt den zeitlichen und räumlichen Verlauf der Energiefreisetzung in der Kappe, genau zu beschreiben.

Stand der Technik

Exotherme Speisermassen enthalten unter anderem Aluminium und Eisenoxid, welche stark exotherm reagieren, da das Aluminium eine höhere Affinität zum Sauerstoff hat als Eisen. Unter hoher Wärmeabgabe entsteht aus Eisenoxid und Aluminium Aluminiumoxid und Eisen (Aluminothermie oder Goldschmidt-Verfahren):



Diese Reaktion kommt erst oberhalb einer bestimmten Zündtemperatur in Gang, auf die das Speisermaterial durch die in die Form eingefüllte Schmelze aufgeheizt wird. Bei den meisten Speisersystemen brennt das exotherme Material von innen radial nach außen. Anhand der Kappengeometrie und der spezifischen Brenngeschwindigkeit des Materials ergibt sich die Brennzeit. Es werden immer weitere Varianten und Kombinationen von Speisern entwickelt, beispielsweise Hybrid-speiser wie die Eco-Reihe von GTP Schäfer, welche aus einer Kombination von isolierenden und exothermen Massen bestehen.

In Simulationsprogrammen werden exotherme Speiser bisher vereinfacht dargestellt, indem dem gesamten Kappenvolumen ein Energieinhalt zugewiesen wird, der über eine vorgegebene Brennzeit konstant freigesetzt wird. Für den Anwender ist es bereits schwierig, einen Energieinhalt zu bestimmen, aber noch schwieriger ist es, die Brennzeit zu definieren, da diese wie bereits angesprochen, von der Speisergeometrie abhängig ist. Diese vereinfachte Modellierung führt potenziell zu relativ großen Abweichungen der Simulationsergebnisse von der Realität und infolgedessen zu Überdimensionierungen der Speiser. Auch, dass sich die Materialeigenschaften zwischen unverbranntem und verbranntem Zustand



Bild 1: Versuchsaufbau zur Untersuchung des Brennverhaltens exothermer Speisermassen.

FOTO: GTP SCHÄFER/ FLOW SCIENCE DEUTSCHLAND

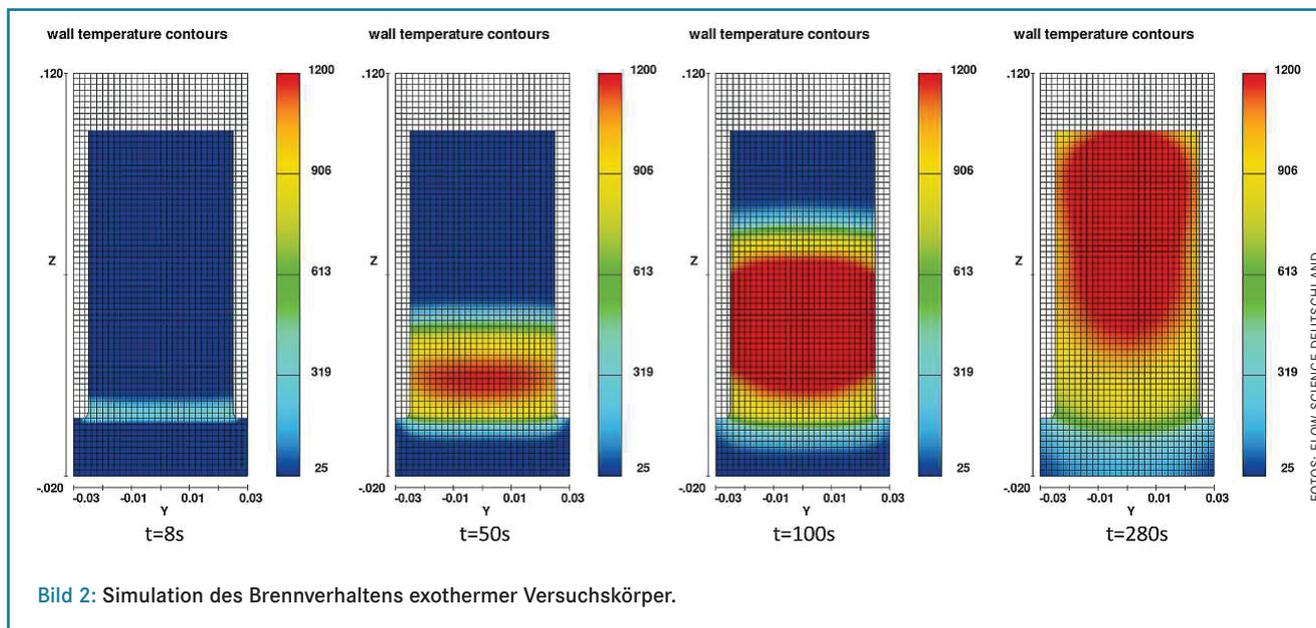
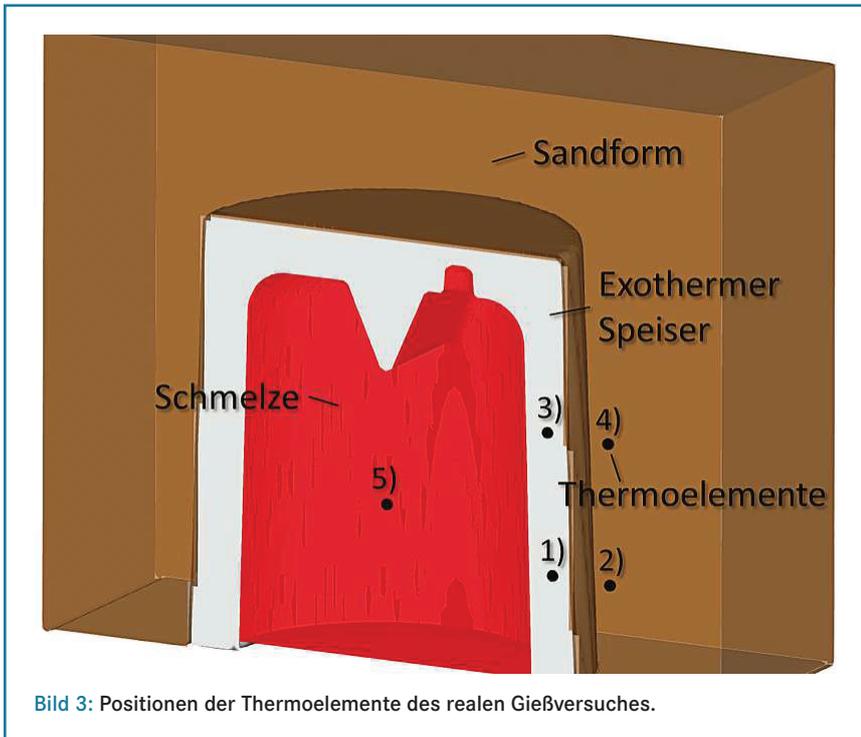


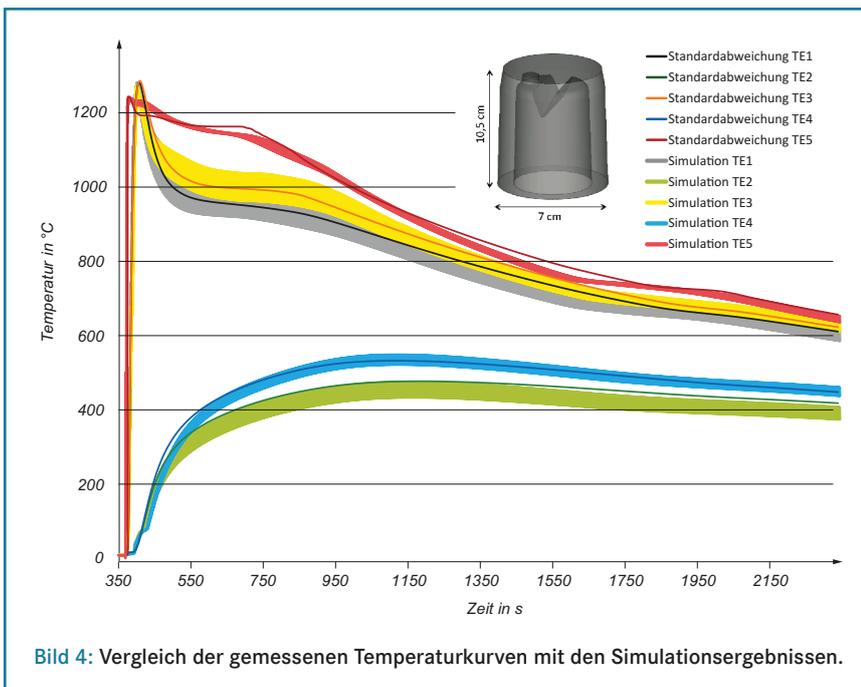
Bild 2: Simulation des Brennverhaltens exothermer Versuchskörper.

FOTOS: FLOW SCIENCE DEUTSCHLAND



P 81 zur Prüfung von exothermen Massen [2], gewählt (Bild 1). Für den Versuch werden zwei Prüfkörper (D = 50 mm, H = 50 mm) des exothermen Materials hergestellt und aufeinandergesetzt. Der untere Prüfkörper wird entzündet und das Brennverhalten der beiden Proben untersucht. Bei diesem Aufbau lässt sich gut das Fortschreiten des AbbreNNens beobachten und nachvollziehen. Anschließend soll das Brennverhalten in Bezug auf den zeitlichen und räumlichen Verlauf dem Simulationsmodell (Bild 2) gegenübergestellt werden.

Im Anschluss an die Untersuchungen des Brennverhaltens der Versuchskörper wurden reale Gießversuche in Furansandformen durchgeführt. Der experimentelle Aufwand dieser Versuche gestaltet sich wesentlich höher. Es zeigt sich jedoch, dass sich das Brennverhalten von Speisern innerhalb von Sandformen von dem unter Umgebungsluft merklich unterscheidet. Dieser Unterschied lässt sich darauf zurückführen, dass das exotherme Material innerhalb einer Sandform nur eine eingeschränkte Menge an Sauerstoff zur Verfügung hat. Bei den Gießversuchen wurden exotherme Kappenspeiser in einer Furansandform mit Schmelze gefüllt und gleichzeitig Temperaturkurven ermittelt. Dazu wurden verschiedene Thermoelemente platziert, um den Temperaturverlauf in der Kappe, dem Formsand und der Schmelze zu erfassen. So befindet sich ein Thermoelement innerhalb der Schmelze im Speiser. Zwei weitere befinden sich innerhalb der Kappe und zwei im Formsand (Bild 3). Für die Messung wird die Kappe mit flüssigem Eisen der Sorte GJS 400 gefüllt.



Für eine hohe Reproduzierbarkeit und möglichst aussagekräftige Temperaturkurven wurden die Messungen mehrfach durchgeführt. Weiterhin sind die Versuche mit drei verschiedenen Kappengrößen mit einem thermischen Modul von 0,95 cm, 1,5 cm und 2,7 cm wiederholt worden. So sollten möglichst viele Einflüsse (z.B. abweichende Messpositionen, Material- oder Verdichtungsschwankungen) einbezogen und das Simulationsmodell hinsichtlich einer großen geometrischen Bandbreite untersucht werden. Aus den aufgenommenen Temperaturkurven wurde eine Standardabweichung berechnet und diese den Messwerten der Simulationsergebnisse gegenübergestellt (Bild 4).

Es konnte gezeigt werden, dass die Temperaturkurven der Simulationsergebnisse im Wesentlichen innerhalb der berechneten Standardabweichungen liegen. Es lässt sich also ableiten, dass die Abwei-

verändern, wurde in Gießsimulationen bisher nicht beachtet.

Experimentelle Untersuchungen

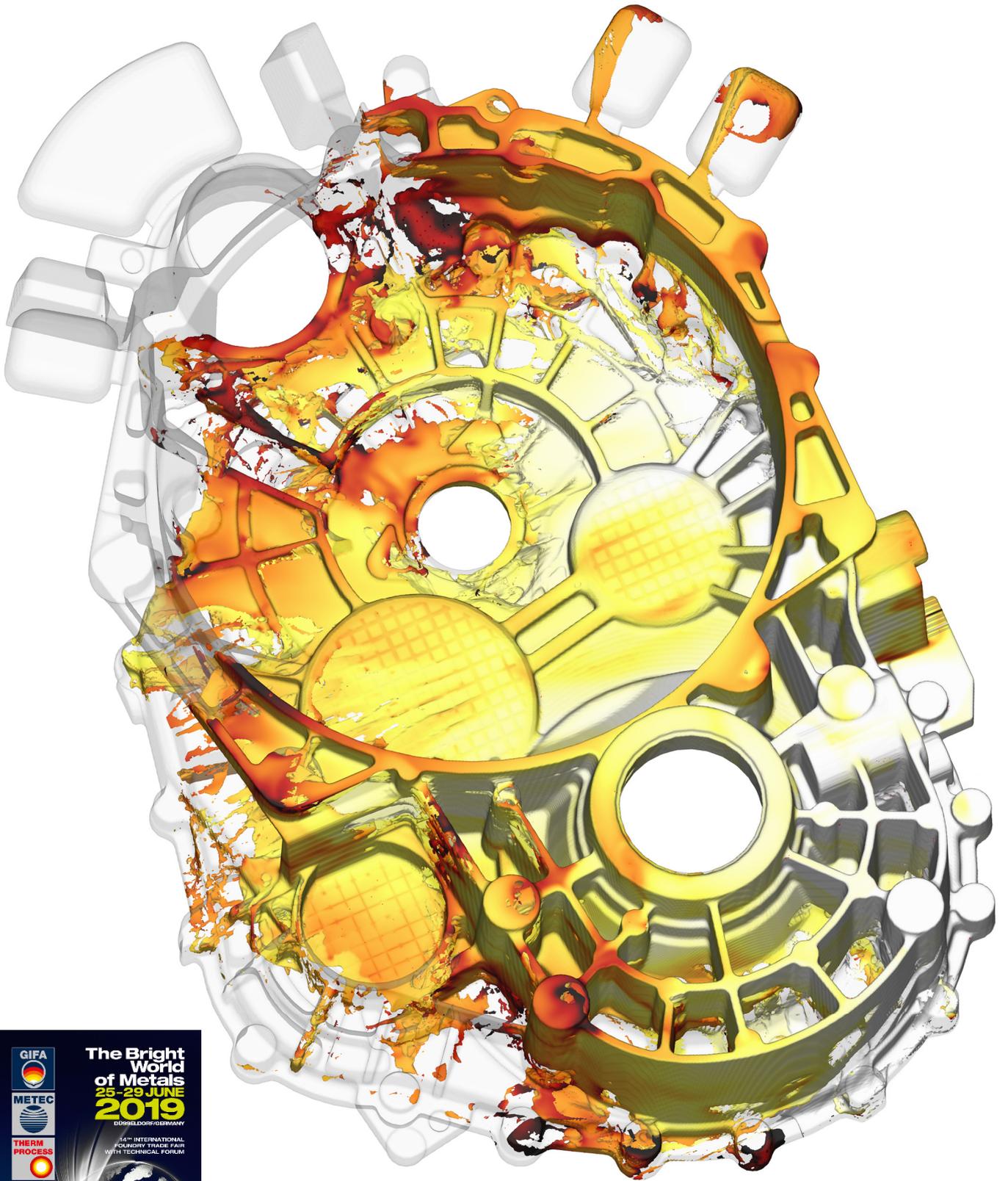
Um Materialdaten der exothermen Speisermasse zu erhalten, wurden von GTP Schäfer zunächst Messungen der thermophysikalischen Eigenschaften durchgeführt. Hierbei wird eine Probe einer definierten Energie pro Zeiteinheit erhitzt und kontinuierlich die Materialeigenschaften bestimmt. Eine Schwierigkeit bei diesen Messungen war die hohe Dynamik, die durch die exotherme Reaktion hervor-

gerufen wird. Sobald die Zündtemperatur erreicht ist, brennt das Material eigenständig ab und folgt nicht mehr der Temperatur des Messsystems. So lassen sich in diesen Versuchen lediglich die Materialeigenschaften im unverbranntem Zustand sicher ermitteln. Zunächst stellen sich also das AbbreNNverhalten und die Materialeigenschaften während und nach dem Abbrand als ungenau bzw. unbekannt dar.

Deshalb sollte weiterführend das AbbreNNverhalten genauer untersucht werden. Hierzu wurde ein Versuchsaufbau vergleichbar zu dem des VDG-Merkblattes

Die Simulationssoftware für die Gießereitechnik

FLOW-3D
CAST



Halle 12/E34

www.flow3d.de

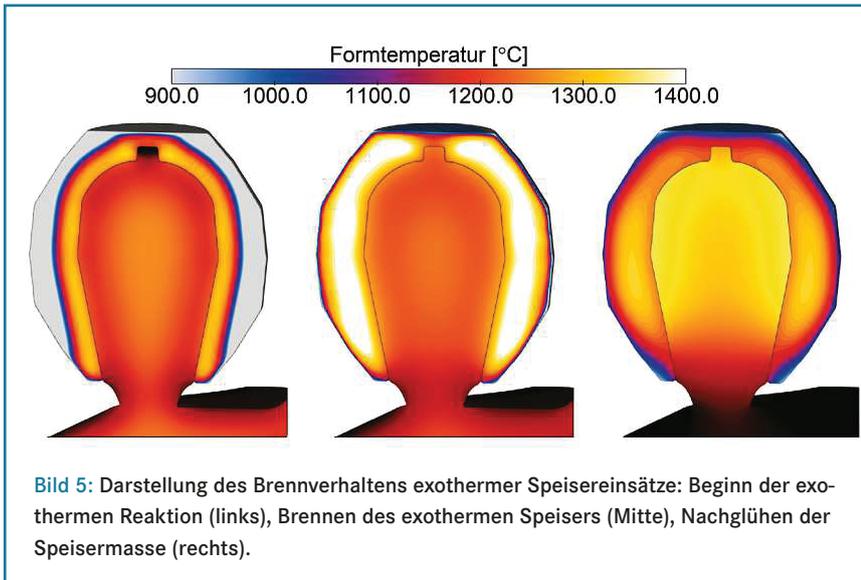


Bild 5: Darstellung des Brennverhaltens exothermer Speisereinsätze: Beginn der exothermen Reaktion (links), Brennen des exothermen Speisers (Mitte), Nachglühen der Speisermasse (rechts).

chungen der Temperaturkurven zwischen Simulations- und Versuchsergebnissen innerhalb der Messgenauigkeiten liegen und weiter, dass das implementierte Modell das exotherme Verhalten von Speisereinsätzen akkurat abbildet.

Das neue Modell

Die Wirkungsweise des Modells von Flow-3-D-Cast sollte die Realität möglichst genau wiedergeben. Deshalb wird nicht der Speiser als ein gesamtes exothermes Volumen behandelt, das sich überall gleich

verhält, sondern jede Zelle des Rechengitters separat für sich. Sobald eine Zelle des Speisers die Zündtemperatur erreicht, wird die exotherme Reaktion ausgelöst und Wärme nach einer berechneten Funktion freigesetzt. Die Temperatur der Zelle steigt und erhitzt wie bei einer Kettenreaktion die benachbarten Zellen, sodass diese ebenfalls ihre Zündtemperatur erreichen. Auf diese Weise wird ein realistisches Abbrennverhalten innerhalb der Speiserkappe dargestellt. Nachdem die exotherme Reaktion stattgefunden hat, verändert die Speisermasse ihre Eigen-

schaften und besitzt im weiteren Verlauf eine isolierende Wirkung. Auch in der Simulation werden die Materialeigenschaften der Speisereinsätze für jede Zelle mit dem Grad des Abbrandes angepasst. So wechseln die thermophysikalischen Eigenschaften zwischen unverbranntem und verbranntem Material, was zusätzlich Einfluss auf die Temperaturverteilung während des Abbrennens des exothermen Materials nimmt. In Bild 5 werden die verschiedenen Stadien des Abbrennens dargestellt. Der Speisereinsatz beginnt mit der exothermen Reaktion, wenn die Schmelze das Material über die Zündtemperatur gebracht hat. Anschließend verbrennt das Material eigenständig und gibt Wärme an die Schmelze ab. Nachdem die exotherme Reaktion beendet ist, kommt es aufgrund der isolierenden Eigenschaften zu einem „Nachglühen“. So kann die hohe Temperatur der exothermen Reaktion gehalten werden und der Speiser kann das Gussstück lange mit flüssiger Schmelze bedienen.

Ein großer Mehrwert im Vergleich zu bisherigen Definitionen ist, dass sich allgemeingültig ein Material in der Datenbank hinterlegen lässt, bei dem alle Parameter bekannt sind. Unbekannte Größen, wie die Brennzeit der gesamten Kappe, ergeben sich selbstständig während der Simulation.

In der Software Flow-3-D-Cast, wurde eine Speiserdatenbank von GTP Schäfer

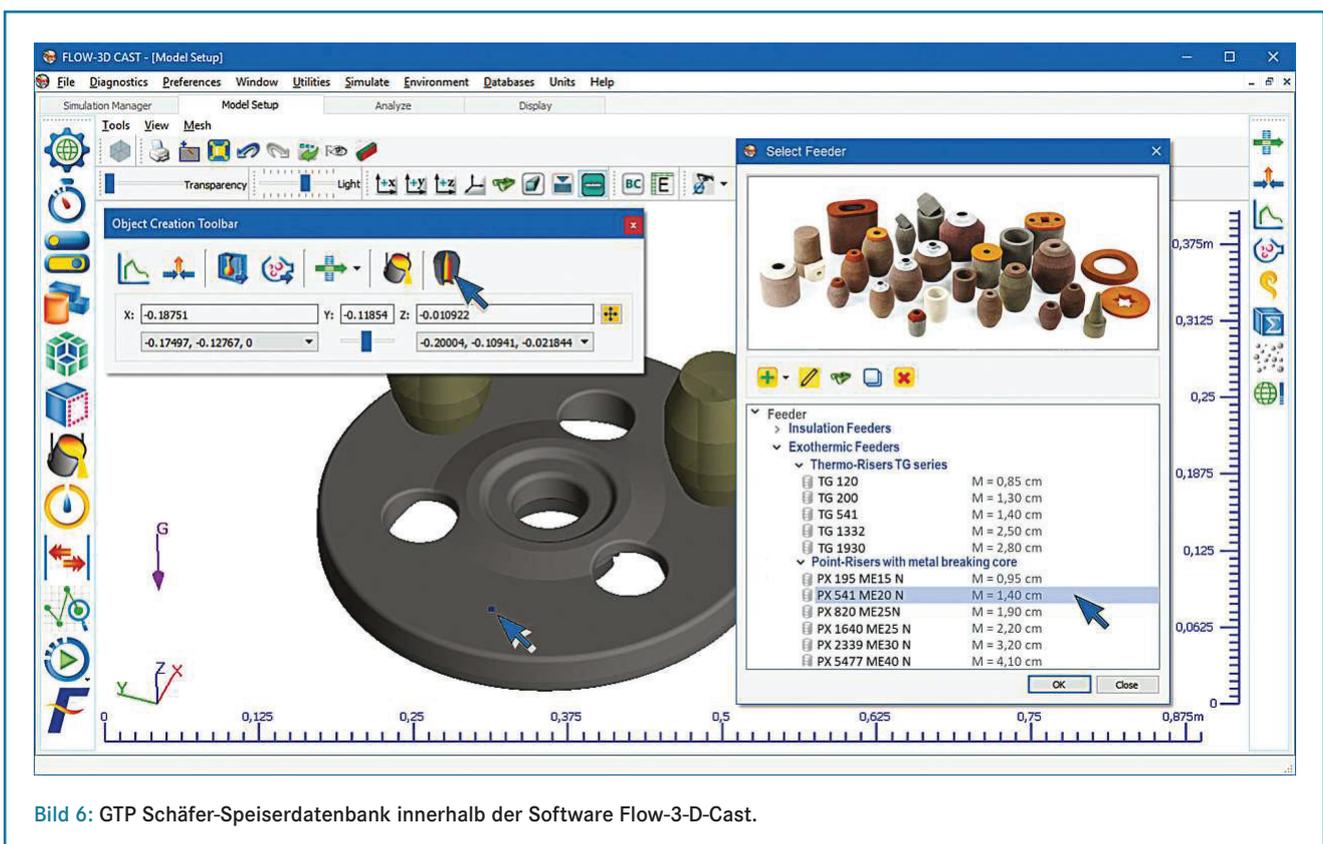


Bild 6: GTP Schäfer-Speiserdatenbank innerhalb der Software Flow-3-D-Cast.

Erleben Sie GIESSEREI 4.0

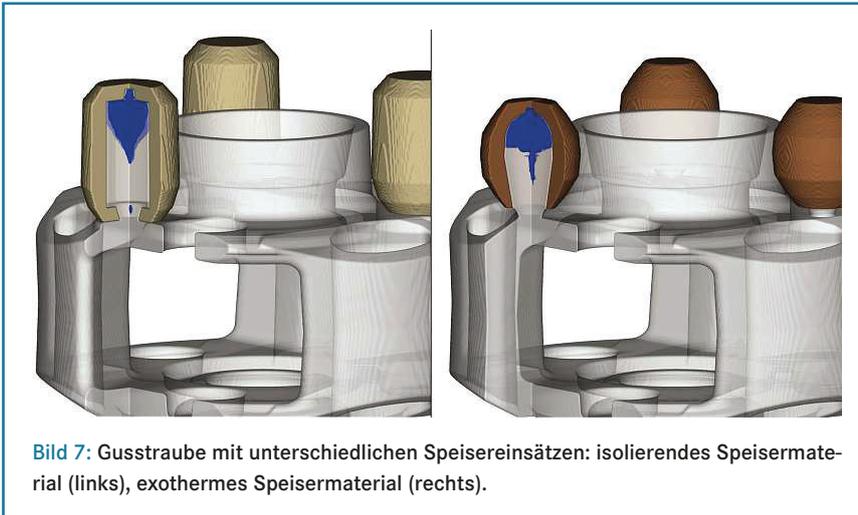


Bild 7: Gussstraube mit unterschiedlichen Speisereinsätzen: isolierendes Speisermaterial (links), exothermes Speisermaterial (rechts).

implementiert (Bild 6). Die Datenbank umfasst Speiserdaten von exothermen und isolierenden Speisereinsätzen. Es ist möglich, mit wenigen Mausklicks einen passenden Speiser auszuwählen und zu platzieren. So lassen sich auf Basis einer Modulberechnung schnell und effektiv die richtigen Speiser für ein Gussstück auswählen und die Wirkung überprüfen.

Validierung

In Bild 7 wird ein Fallbeispiel dargestellt, bei dem isolierende Speiser eingesetzt wurden. Eine Porositätsanalyse zeigt, dass die Speiser nur knapp die Schwindung des Bauteils ausgleichen können. Aufgrund der hohen Erstarrungszeit gelingt es den isolierenden Speisern nicht, die Schmelze ausreichend lange auf einem hohen Temperaturniveau zu halten und es bildet sich ein kritischer Sekundärlunker im Anschnittbereich. Die Fehlstelle befindet sich zwar innerhalb des Speisers, ist jedoch sehr instabil, da Schwankungen der Prozessparameter wie chemische Zusammensetzung des Gießmaterials oder Gießtemperatur dazu führen, dass sich die Porositäten in das Bauteil verschieben und damit zu Ausschuss führen. Es kommt somit teilweise zu fehlerbehafteten Bauteilen, obwohl sich die Prozessparameter innerhalb der Toleranzen befinden. Um eine robuste und effiziente Lösung zu finden, wurden exotherme Speiser gewählt und mit dem neuen Simulationsmodell dimensioniert. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich nun kein Sekundärlunker ausbildet, also bis zum Ende der Erstarrung ausreichend flüssige Schmelze zur Verfügung steht, um das Bauteil dichtzuspeisen. Aufgrund der effizienteren Wirkweise konnte ein kleinerer Speiserkorpus, der 30 % weniger Schmelzevolumen enthält, gewählt und somit

unnötiges Recyclingmaterial eingespart werden. Mit den verwendeten Speisern konnte eine robuste Lösung erzielt werden, da sie sich nicht sensitiv gegenüber prozessbedingten Schwankungen verhalten und zuverlässig Fehlstellen innerhalb des Bauteils vermeiden.

Zusammenfassung

Simulationen sind immer nur eine Annäherung an die Realität. Die verwendeten Modelle sollten jedoch in der 1. Lage sein, die für das Ziel der Simulation wesentlichen physikalischen Effekte hinreichend genau zu beschreiben, damit aus den Simulationsergebnissen die richtigen Schlüsse für die Praxis gezogen werden können. Dies ist für die Auslegung von exothermen Speisern mit dem neuen Modell, das in Flow-3-D-Cast implementiert wurde, nun erstmals der Fall. Die neue Herangehensweise, Temperaturmesswerte von Gießversuchen den Ergebnissen der Simulation gegenüberzustellen, sichert eine hohe Genauigkeit für den Einsatz exothermer Speiser.

Malte Leonhard, M. Sc. und Dr.-Ing. Matthias Todte, Flow Science Deutschland GmbH, Rottenburg und Dipl.-Kfm. Jörg Schäfer, GTP Schäfer GmbH, Grevembroich.

Literatur:

- [1] *Giesserei 100* (2013), [Nr. 8], S. 74-79.
- [2] *VDG Merkblatt P 81: Prüfung exothermer Massen.*



**Besuchen Sie uns
auf der GIFA
Stand 13-C37**

www.rgu.info

RGU CAST IN
SOFTWARE