

Spezielle Möglichkeiten der numerischen Simulation von Prozessen der Gießereitechnik mit der Software *FLOW-3D*[®]

Dr.-Ing. Dipl.-Phys. **Matthias Todte**, CFD Consultants GmbH, Rottenburg

1. Einleitung

Gießsimulation, also die computergestützte Berechnung der Phänomene während der Formfüllung, Erstarrung und Abkühlung, Gefügebildung sowie der Bildung von Eigenspannungen und Verzug, ist heute aus dem Entwicklungsprozess vieler Gussteile, speziell in der Automobilindustrie, nicht mehr wegzudenken. Noch vor ca. 25 Jahren, als die ersten Simulationsprogramme entwickelt und kommerziell vertrieben wurden, blieb es fast ausschließlich den so genannten „Großen“, womöglich mit eigener Forschungs- und Entwicklungsabteilung, mit hoch qualifiziertem und spezialisiertem Personal vorbehalten, auf sehr teuren Rechnern Erstarrungssimulationen durchzuführen. Dabei stand die Validierung und die Nachberechnung von vorhandenen Gussteilen und nicht die Gussteileentwicklung im Vordergrund.

Heute hat sich die Situation grundlegend geändert. Simulation ist auf normalen Computern ohne Leistungseinbußen verfügbar und die Nutzung bleibt nicht mehr den Akademikern und Wissenschaftlern vorbehalten, sondern ist grundsätzlich für „jeden“ möglich. Einfache Benutzeroberflächen, schnelle und preisgünstige Hardware und der oft geführte Beweis der Genauigkeit einer Simulationsrechnung haben dazu geführt, dass Simulation als Werkzeug, genauso wie auch CAD/CAM-Systeme, im Gießereialltag selbstverständlich und erfolgreich eingesetzt wird. Die Optimierung der Gussteilgeometrie nach gießtechnischen Gesichtspunkten sowie die optimale Auslegung des Gießprozesses hinsichtlich Qualität und Wirtschaftlichkeit sind dabei die vorrangigen Ziele.

2. Numerische Simulation des Gieß- und Erstarrungsprozesses

Die Simulation von Gieß- und Erstarrungsprozessen wird zunehmend in der industriellen Produktion von Bauteilen zur Optimierung von Herstellungsprozessen und Materialeigenschaften eingesetzt. Dabei handelt es sich um einen komplexen Prozess, der von der Simulation des Fließ- und Abkühlverhaltens einer Schmelze im Gießprozess bis zur Berechnung der so entstehenden Gefügestruktur und deren mechanischen Eigenschaften reicht. Die Aussagekraft der Resultate hängt bei Simulationsprogrammen immer sehr stark von der korrekten Simulation des Formfüllvorgangs ab: Wird dieser nicht korrekt beschrieben, kommt es

zu einer Fehlerfortpflanzung. Eine ungenaue Formfüllsimulation führt zu einer ungenaueren Erstarrungssimulation und somit wird der gesamte simulierte Gussprozess verfälscht. Es ist daher bei jeder Simulationsberechnung wichtig, eine möglichst genaue Beschreibung des Formfüllprozesses zu erreichen, um so signifikante Fehlerquellen zu verringern [1]. Besonders hier zeigt das Strömungssimulationsprogramm **FLOW-3D**[®] seine Stärken. Aufgrund der exakten Berücksichtigung der physikalischen Gesetzmäßigkeiten und der zahlreichen implementierten Modelle liefert die Software in Zusammenhang mit einer speziellen Vernetzungstechnik (**FAVOR**[™]-Technik) und der exakten Beschreibung der freien Oberfläche (**TruVOF**[™]-Methode) äußerst realistische Simulationsergebnisse (**Bild 1**). So können die bereits in diesem Stadium des Produktentstehungsprozesses entstehenden Gussfehler äußerst genau detektiert und durch entsprechende Maßnahmen reduziert oder vermieden werden.

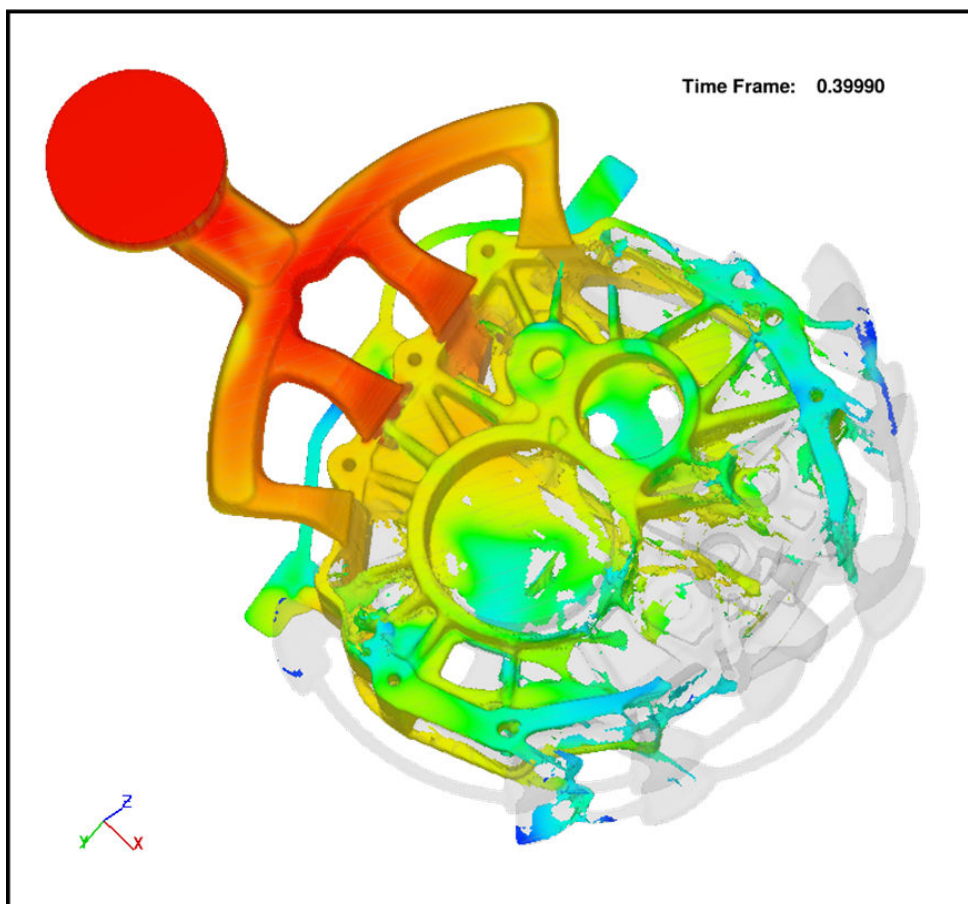


Bild 1: Formfüllsimulation mit dem Programm **FLOW-3D**[®]
(3D-Darstellung der Schmelzetemperatur)

3. Simulation von Prozessen der Kernfertigung

Das hohe Fertigungsniveau und der ausgeprägte Innovationsgrad deutscher Gießereien im globalen Wettbewerb führen zunehmend auch zu höheren Anforderungen an die Kernfertigung [2]. Zusammen mit den immer komplizierter werdenden Geometrien von Gussteilen wachsen auch die Anforderungen an die geometrische Gestaltung der Kerne. Um dieser höheren Komplexität und den gleichzeitig steigenden Qualitätsanforderungen bei deren Herstellung gerecht zu werden, kommen auch hier seit mehreren Jahren verschiedene Simulationswerkzeuge zum Einsatz. Als Grundlage für die Modellierung des Kernschießprozesses dient dabei zumeist eine Zweiphasenströmung (Sand-Luft-Gemisch). Sowohl die kompressible fluide Phase als auch die granulare Phase werden als Kontinuum betrachtet [3], [4]. In der Simulationssoftware **FLOW-3D**[®] ist ebenfalls ein entsprechendes Modell integriert und wird bereits seit geraumer Zeit erfolgreich zur Auslegung von Kernkästen angewendet. Zur Simulation des Kernschießprozesses gehört dabei die Berechnung des Transports des Sandes in den Kernkasten und die anschließende Verdichtung in diesem (**Bild 2**). Anhand solcher Simulationsergebnisse lassen sich die technische Machbarkeit sowie die Qualität der zukünftigen Kerne beurteilen und beeinflussen. Damit kann z.B. eine optimale Gestaltung des Kernkastens hinsichtlich der Anzahl der Einschussöffnungen oder der Lage der Entlüftungsdüsen erreicht werden. Auch der sich daran anschließende Prozess der Aushärtung der Sandkerne durch Begasung und anschließenden Spülvorgang lässt sich mit **FLOW-3D**[®] leicht berechnen und somit gezielt optimieren.

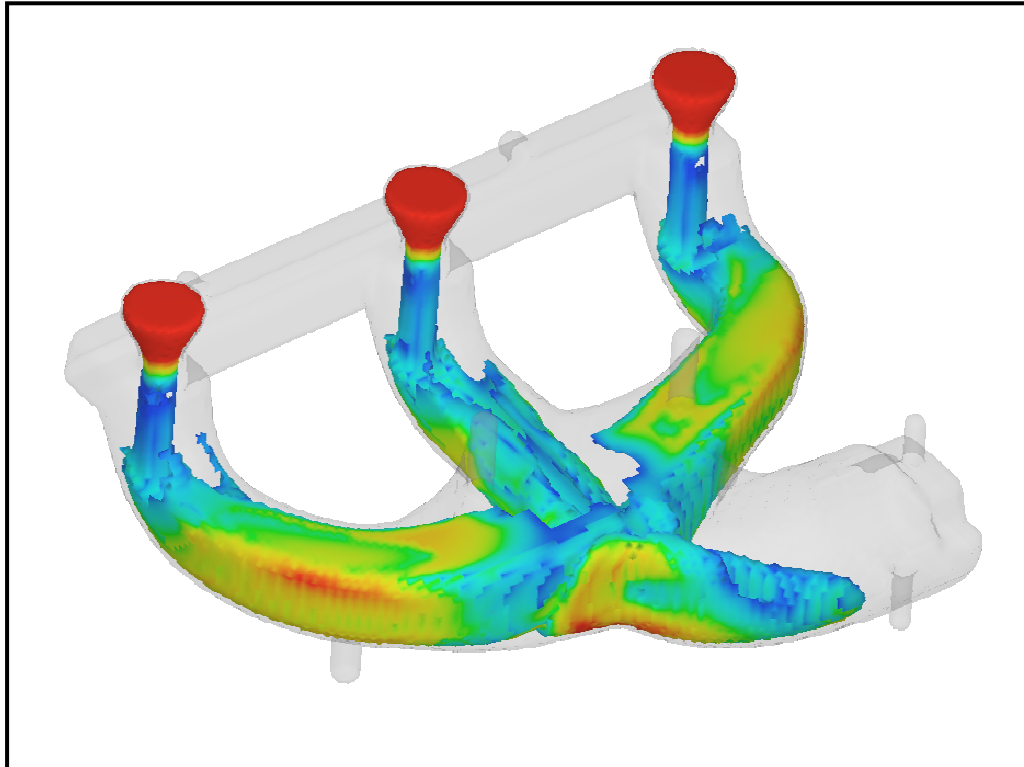


Bild 2: Simulation eines Kernschießprozesses mit **FLOW-3D**[®]
(3D-Darstellung der Sandkerndichte)

Die anorganische Kernfertigung ist eine der größten Herausforderungen der Gießereiindustrie in den vergangenen und nächsten Jahren in Europa. Ständig steigende Qualitäts- und Umweltauflagen stellen die Gießereien und ihre Zulieferer vor immer neuen Aufgaben. Neben Produktivitätssteigerungen gehören die Erfüllung von Umwelt- und Arbeitsschutzbestimmungen zu den Erfolgsfaktoren der Gießereien, was eine kontinuierliche Beobachtung und Weiterentwicklung der bestehenden Prozesse und Verfahren erfordert. Auch der steigende Kostendruck ist in der Gießereibranche ein treibender Aspekt, die wirtschaftlichen Vorteile der anorganischen Kernfertigung kurz- und mittelfristig zu realisieren. Zusätzlich steigen sowohl die Prozessqualität (z.B. Reduktion der Kerngas einschüsse im Gussteil) als auch die Produktqualität der Gussteile. Durch die geringeren möglichen Werkzeugtemperaturen beim Abguss von Bauteilen mit Kernen aus einer Produktion mit anorganischen Bindern und die daraus resultierenden kürzeren Erstarrungszeiten, kommt es zu geringeren Dendritenarmabständen im Gefüge und damit zu einer höheren Bauteilfestigkeit. In manchen Fällen sind auch leichtere Bauteile oder komplexere konstruktive Lösungen erst durch diese verbesserte Sandkernqualität möglich [5], [6].

Einen wichtigen Prozessabschnitt der anorganischen Kernfertigung stellt die Sandkern-trocknung dar. Diese hat neben anderen Faktoren einen entscheidenden Einfluss auf die zukünftige Qualität der Kerne. Um auch diesen Prozess mit der Simulationssoftware **FLOW-3D**[®] abzubilden, wurden bereits im Programm implementierte Modelle weiterentwickelt und an die vorliegende Problemstellung angepasst. Dadurch lassen sich sowohl die Verdampfung als auch die Kondensation des im Sandkern enthaltenen Wassers unter Berücksichtigung der physikalischen Gegebenheiten (Luftdruck und -temperatur, Sättigung usw.) berechnen. Im Ergebnis der Simulation kann man genau den Trocknungsprozess an Hand verschiedener Simulationsgrößen verfolgen und durch Anpassung der Prozessparameter (Zeit, Temperatur usw.) oder der Kernkastengestaltung (Luftzufuhr, Entlüftung) optimieren (**Bild 3**).

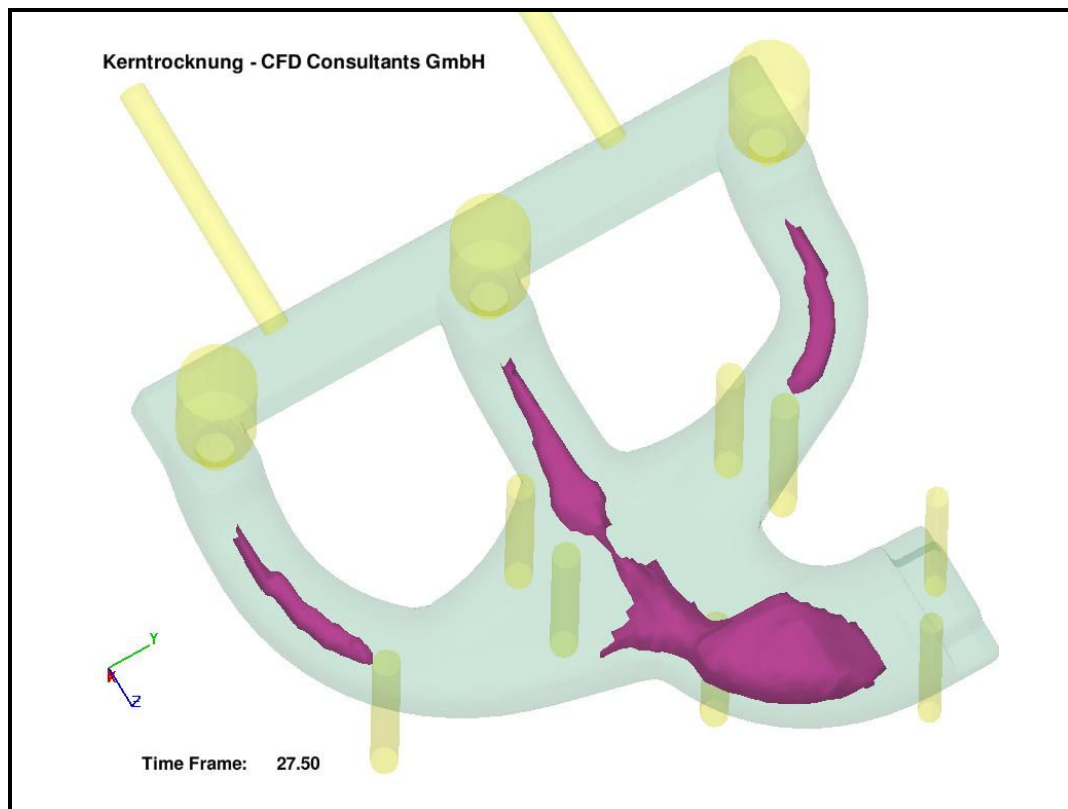


Bild 3: Simulation eines Kerntrocknungsprozesses mit **FLOW-3D**[®] (3D-Darstellung der Restfeuchtigkeitsgebiete)

4. Simulation von Sondergießverfahren

Die meisten bekannten Simulationsprogramme liefern für die Standard-Gießprozesse, wie z.B. Druckguss, Kokillenguss oder Sandguss, gute bis sehr gute Ergebnisse. Stellt sich aber die Frage nach der Untersuchung von speziellen Gießverfahren, stößt man sehr schnell an die Grenzen der einzelnen Systeme. Entweder ist man gezwungen einzelne „Module“ teuer nachzukaufen oder das Programm ermöglicht solche Simulationen nicht oder nur unter bestimmten starken Vereinfachungen. Mit **FLOW-3D**[®] kann man hingegen alle bekannten Gieß- und Sondergießverfahren, wie z.B. Schleuderguss, Kippguss, Lost Foam Verfahren, Stranggießen, Flüssigpressen, Semi-Solid-Gießverfahren, Thixocasting usw., detailliert untersuchen (**Bild 4**).

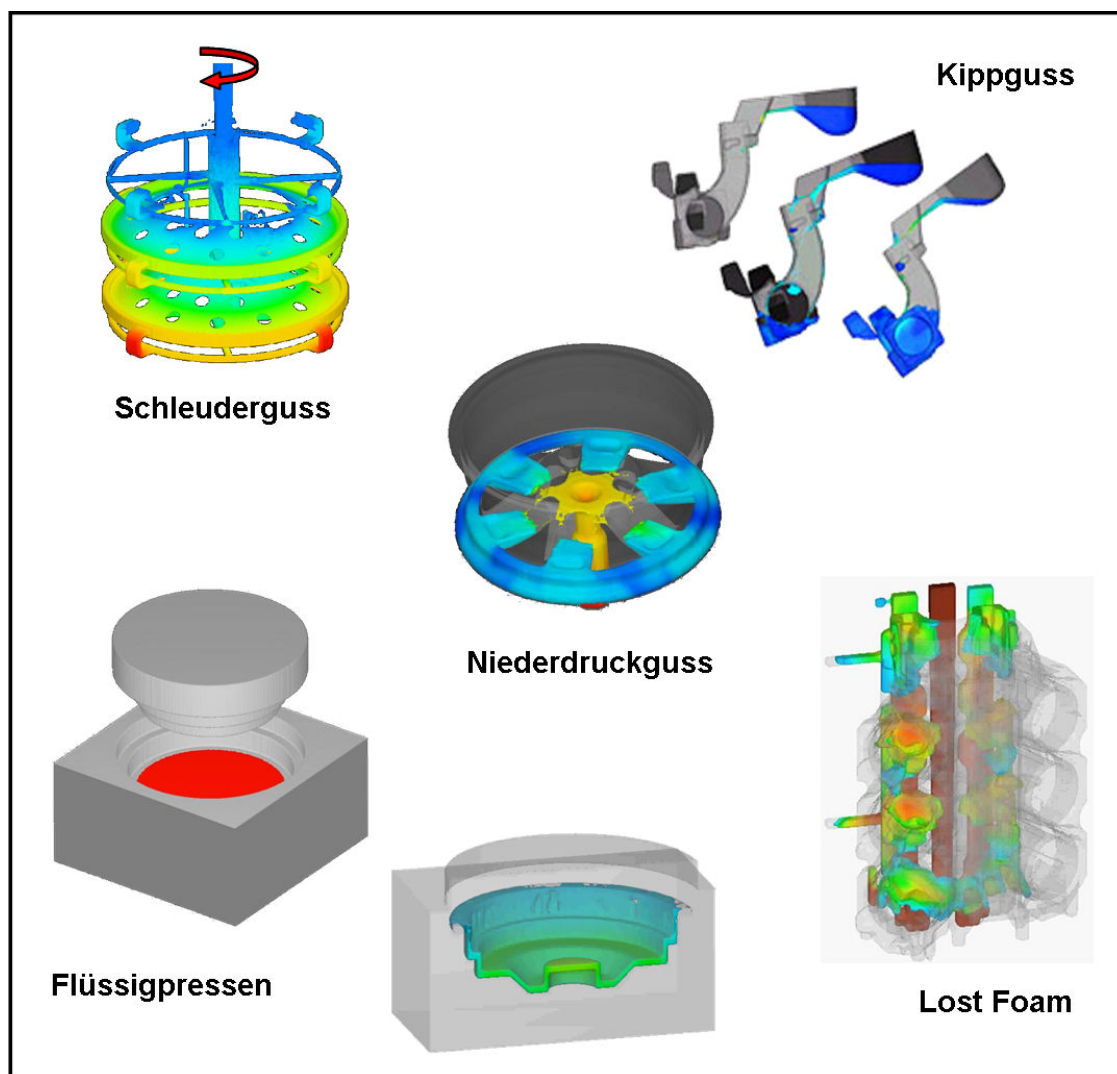


Bild 4: Verschiedene spezielle Anwendungsgebiete von **FLOW-3D**[®]

5. Spezielle Simulationen mit **FLOW-3D**[®]

Kerngase

Im Zusammenhang mit dem Einsatz von herkömmlich hergestellten Sandkernen (Cold-Box-Verfahren, Hot-Box-Verfahren usw.) stellt sich die Frage nach möglichen Gussfehlern bedingt durch Kerngaseinschlüsse. Hierzu wurde in der neusten **FLOW-3D**[®]-Version ein spezielles Simulationsmodell entwickelt, das in der Lage ist, die Entstehung und den Transport von Kerngasen zu berechnen. Mit Hilfe der Simulationsergebnisse kann man so deutlich erkennen, in welchen Bereichen Kerngase in das Bauteil entweichen bzw. ob sie wie gewünscht über entsprechende Entlüftungsmaßnahmen abgeführt werden können (**Bild 5**).

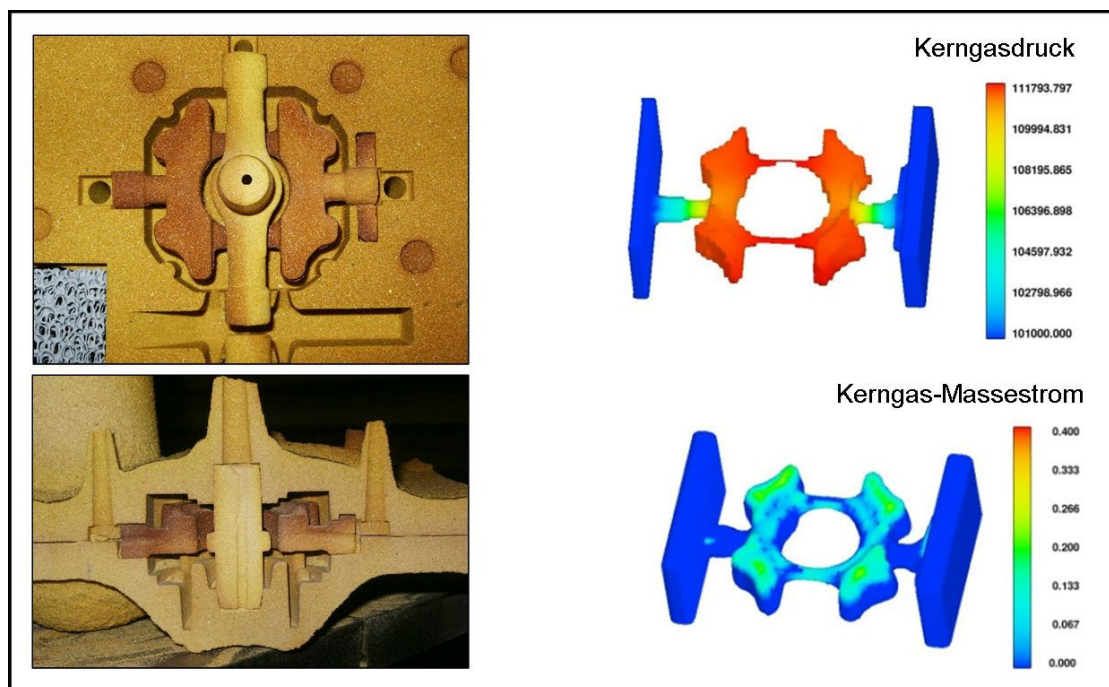


Bild 5: Berechnung der Entstehung und des Transports von Kerngasen mit **FLOW-3D**[®]

Bewegte Objekte

Ein besonderes Augenmerk liegt auf der Nutzung der Formfüllsimulation zur Optimierung des Eingussystems. Hier lassen sich zum Beispiel durch gezielte Maßnahmen (Einsatz von Filtern usw.) hohe Strömungsgeschwindigkeiten sowie gefährliche Verwirbelungen vermeiden und verschiedene Gussfehler, die sich aus dem Formfüllungsprozess ergeben (Oxideinschlüsse, Kaltlauf etc.), sehr genau detektieren und bereits am Computer - vor dem eigentlichen Abguss - beheben. Allerdings steht mehr und mehr die Fragestellung einer kompletten Optimierung des Formfüllprozesses, einschließlich des Schmelzetransports zur Kokille oder zur Füllkammer sowie das Ausgießen in den Tümpel oder die Füllkammer, im Vordergrund.

FLOW-3D[®] kann Aufgrund seiner speziellen Vernetzungstechnik sehr leicht mit bewegten Objekten (General Moving Object) rechnen. Dadurch ist man in der Lage z.B. die Bewegung von Gießpfannen, Stopfen oder Druckgusskolben innerhalb des Rechengitters zu modellieren. Damit lassen sich Vorgänge, wie die Befüllung der Füllkammer über Gießpfannen oder Rinnen, das Ausgießen einer Gießpfanne in einen Tümpel oder das Ziehen eines Stopfens untersuchen. Weiterhin erlaubt dieses Modell die detaillierte Untersuchung des Schussprofils beim Druckguss. So können bereits in diesem Stadium Fehler, wie z.B. das Überschlagen der Schmelze, Einwirbelung von Luft oder Vorerstarrung der Schmelze, detektiert und durch gezielte Maßnahmen vermieden werden (**Bild 6**).

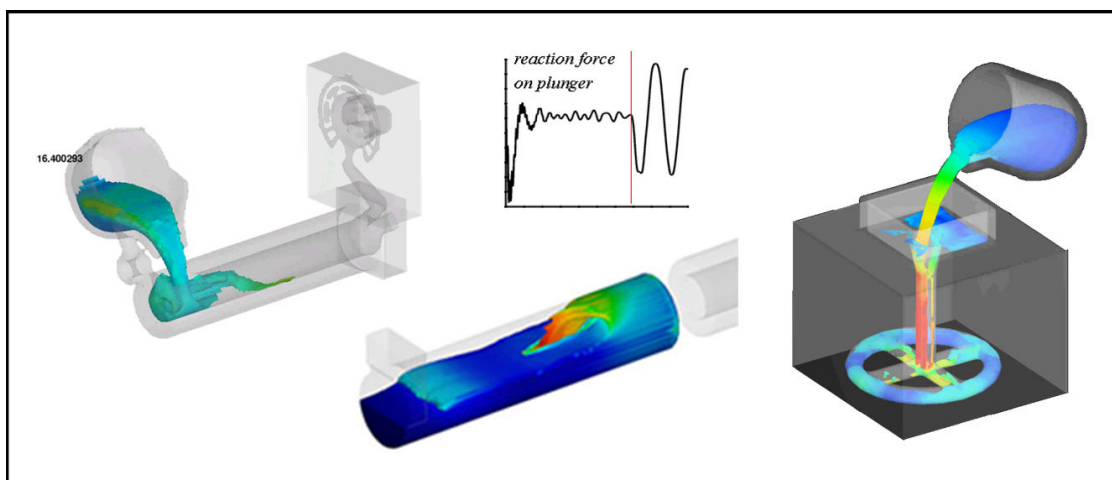


Bild 6: GMO-Modell von **FLOW-3D**[®] zur Beschreibung bewegter Objekte

6. Zusammenfassung

Die Anforderungen an Funktionalität und Qualität von Gussteilen und an die Produktivität und Zuverlässigkeit der Gießprozesse steigen ständig. Die gießtechnische Simulation ist heute ein anerkanntes und wichtiges Werkzeug zur Berechnung von Gießprozessen und hat bereits einen hohen Anwendungsgrad erreicht. Sie stellt wesentliche Informationen zur Beurteilung der zu erwartenden Bauteileigenschaften und der Gussqualität bereit. Der Einsatz von Simulationsprogrammen ist somit ein wichtiges Hilfsmittel sowohl für Entwicklung und Konstruktion als auch für die Fertigung. Das zukünftige Bestreben bei der Anwendung ist die zusätzliche Berechnung von Prozessen, die in engem Zusammenhang mit der Gussteilherstellung stehen, wie z.B. die Herstellung von Sandkernen oder die Wärmebehandlung. Weiterhin besteht die Zielstellung auch spezielle Gießverfahren (Schleuderguss, Kippguss, Flüssigpressen, Lost Foam usw.) simulationstechnisch detailliert zu untersuchen. Ein großes Augenmerk wird auch auf die Abbildung des kompletten Gießprozesses gelegt. So spielt der Transport der Schmelze in einer Gießpfanne zur Füllkammer oder Kokille sowie das Ausgießen in die Kammer oder den Tümpel bereits eine wichtige Rolle. Für die Untersuchung solcher Fragestellungen eignet sich besonders das Simulationsprogramm **FLOW-3D**[®], das als eine umfassende Komplettlösung (All-In-One-Paket) für Entwicklung, Fertigung und Qualitätssicherung alle diese Berechnungen ermöglicht. Die Software liefert wichtige Informationen für die Gussteil- und Werkzeugkonstruktion sowie die Auslegung und Optimierung des gesamten Gießprozesses für eine wirtschaftliche Herstellung qualitätsgerechter Gussbauteile.

Literaturverzeichnis

- [1] <http://www.alu-scout.com/>
- [2] M. C. Schneider, H. Lang, A. Latz: „Simulation der Kernherstellung in der betrieblichen Praxis“, Große Gießereitechnische Tagung 2008, Aachen
- [3] T. Hauck, R. Göpfert, D. Renker, R. Schwarze, J. Bast, F. Obermeier: „Entwicklung eines rheologischen Modells für das Kernschießen und dessen Validierung“, Giesserei-Praxis (2004) 2, S. 73 - 78
- [4] M. Pelzer: „Optimierung der Kernherstellung durch Numerische Simulation“, Dissertation (2000), RWTH Aachen
- [5] <http://www.huettenes-albertus.de>
- [6] E. Weissenbek, J. Willimayer, J. Wolf: „BMW-Leichtmetallgießerei setzt auf anorganisch gebundene Kerne“, Giesserei 95 (2008) 6, S. 32-35