

Eine Simulation soll die Realität möglichst genau abbilden, aber nicht zu viel Aufwand erfordern.

Simulation eines Druckguss-Strukturteils während der Entwicklungsphase mit Ausblick auf die Produktion

Die Gießsimulation ist heutzutage aus dem schnelllebigen Entwicklungsprozess nicht mehr wegzudenken. Dabei stehen die Optimierung von Bauteilen sowie die Verbesserung der technologischen Prozesse im Vordergrund. Moderne Simulationstechniken liefern dazu mittlerweile verlässliche und nachvollziehbare Ergebnisse. Häufig wird schon während der Anfragephase mit einer ersten Simulation begonnen. Obwohl dem Betrieb noch kein Auftrag vorliegt, soll das angefragte Bauteil näher untersucht werden. Die Angebotserstellung soll möglichst realistisch und praxisnah erfolgen, um später Überraschungen beim Produktionsanlauf und damit unnötige Kostensteigerungen zu vermeiden. Der Betrieb hat daher schon bei der Angebotserstellung hohe Anforderungen, wenig Zeit und kein/wenig Budget, um eine realitätsnahe Machbarkeitsaussage zu treffen. Trotzdem wird hier von der Kundschaft eine gewisse Vorleistung erwartet, obwohl nicht sicher ist, wo der Auftrag letztendlich platziert wird.

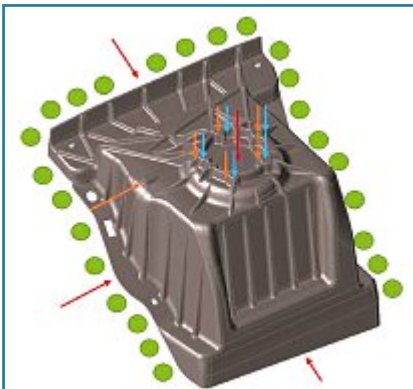


Bild 1: An diesem Druckguss-Strukturteil sind die entscheidenden Punkte gekennzeichnet.

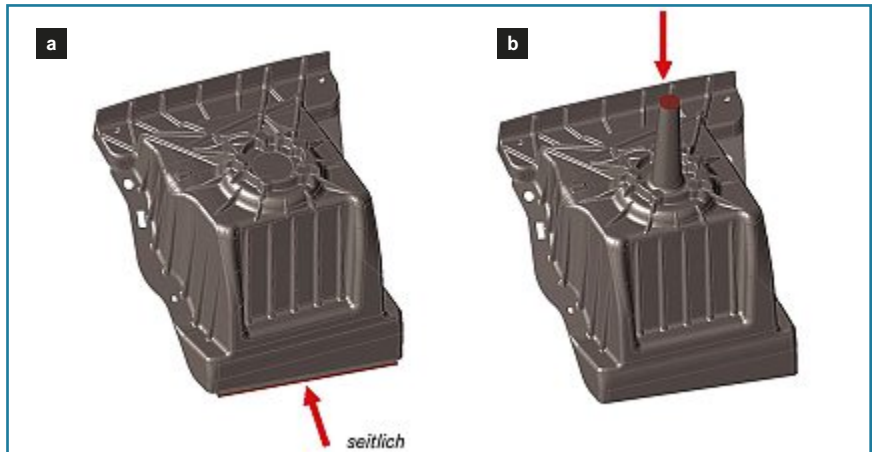


Bild 2 a+b: Angusskonzepte von der Außenseite (li.) bzw. zentral (re.).

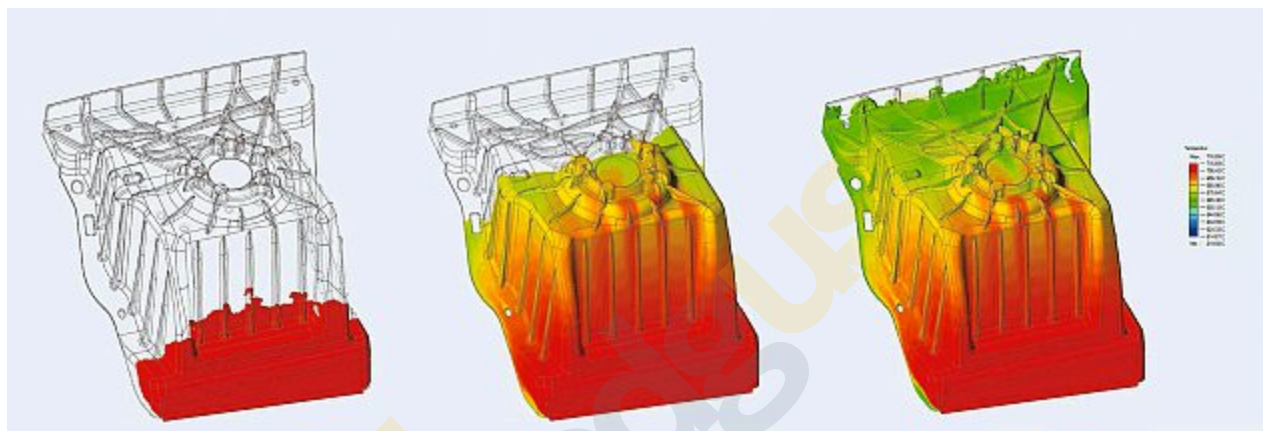


Bild 3: Verlauf der Formfüllung.

RAINER BÖKE, LIPPSTADT

Simulation während der Entwicklungsphase

Die Simulation muss möglichst wenig Aufwand erfordern, gleichzeitig sollen die Ergebnisse schnell vorliegen und die Realität möglichst genau abbilden. Trotz des Zeitdrucks sollen die Resultate zur Formfüllung, Turbulenz, Strömungsgeschwindigkeit, Lufteinschlüsse, Porositäten, Formtemperatur usw. möglichst genau und aussagekräftig sein. Die Aussagen zu Werkzeug- bzw. Produktionskosten sollen durch die Simulation unterstützt und verbessert werden, um das Angebot möglichst treffend zu formulieren.

Als Beispiel sei hier ein Druckguss-Strukturteil genannt, es handelt sich dabei um einen Federbeindom aus der Aluminium-Legierung AlSi10MgMn. Das Gewicht beträgt 5,9 kg bei einer Wandstärke von 2,5 mm. Das Bauteil wird im Vakuum-Druckguss-Verfahren hergestellt und im Bereich der Aufnahmebohrungen CNC-bearbeitet. Weiterhin ist eine Wär-

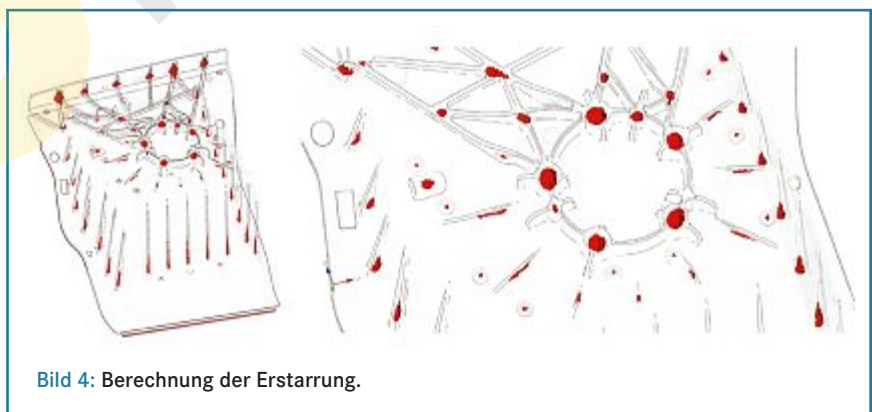


Bild 4: Berechnung der Erstarrung.

mebehandlung zur Steigerung der Festigkeit und Duktilität vorgesehen. Die Abmessungen betragen ca. 530 x 520 x 440 mm.

Druckguss-Strukturteile aus Aluminium stehen im Karosseriebereich seit jeher in Konkurrenz zu dünnen, hochfesten Stahlblechen, wozu weitere Materialien wie Magnesium und kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK) gekommen sind. Die hohe Funktionsintegration, die sehr gute Maßgenauigkeit und die spezifischen Vorteile von Aluminium-Struktur-

teilen bei der Energie-Absorption, verglichen mit Stahl, machen die Bauteile bzgl. Kosten und Steigerungsraten weiterhin sehr interessant.

Aufgrund der bereits genannten Anforderungen sind eine intuitiv leicht zu bedienende Oberfläche und eine schnelle Bedienung des Simulations-Systems mit den geforderten Parametern von entscheidender Bedeutung. Gerade die „Usability“ des Systems ist für einen leichten und schnellen Umgang unabdingbar, da der Anwender möglicherweise nicht täg-

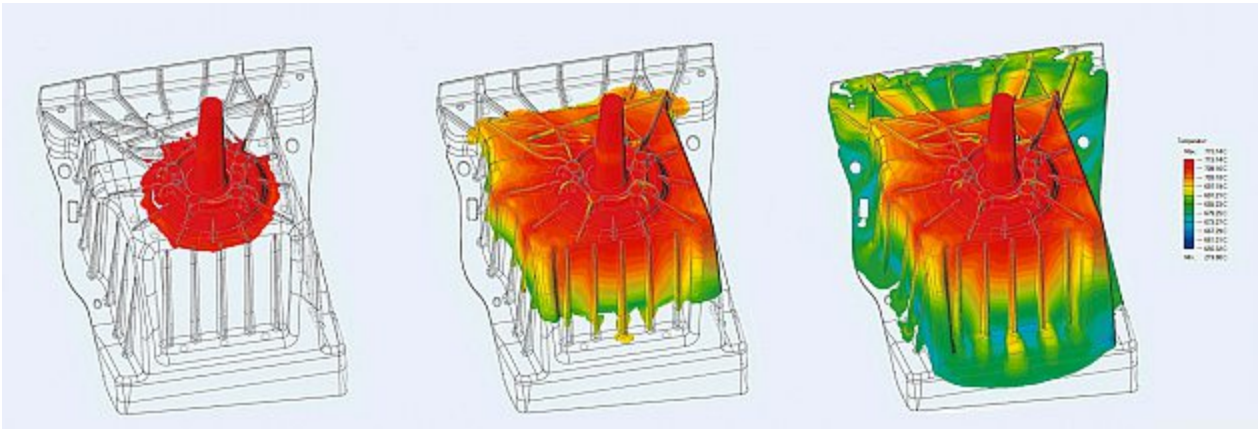


Bild 5: Ergebnis Formfüllung/Erstarrung Anschnitt 2 zentral.

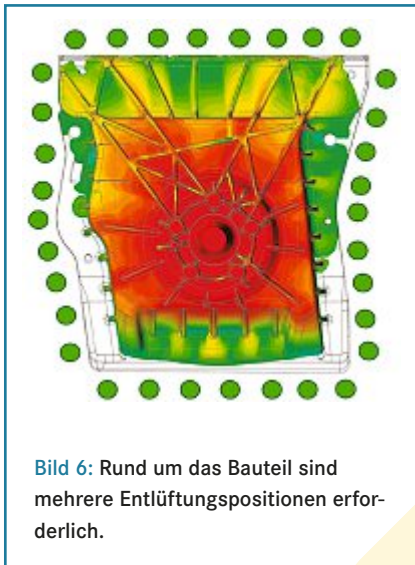


Bild 6: Rund um das Bauteil sind mehrere Entlüftungspositionen erforderlich.

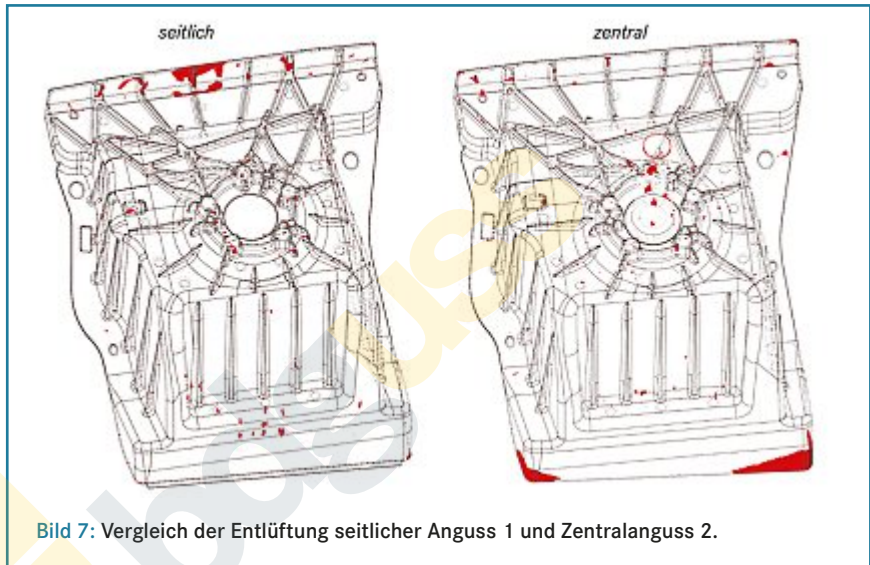


Bild 7: Vergleich der Entlüftung seitlicher Anguss 1 und Zentralanguss 2.

lich mit einem Simulations-System arbeitet. Um den Aufwand so gering wie möglich zu halten, sind entsprechende Features im System InspireCast 2019 vorgesehen.

Vor dem Start sind einige grundsätzliche Fragen zu beantworten (Bild 1):

- > Wo soll das Anschnittsystem (rot) platziert werden?
- > Wo werden Überläufe (grün) benötigt?
- > Werden Kerne (blau) benötigt?
- > Werden Squeezer (orange) benötigt?
- > Wo kann Kühlung platziert werden?
- > Wo muss geheizt werden?

Nach Klärung dieser Fragen, untersuchen wir in unserem zweiten Beispiel Angusskonzepte, einmal von der Außenseite (Bild 2, li.) und einmal zentral (Bild 2, re.). Beide erfordern unterschiedliche Werkzeugkonzepte, bei denen jeweils andere Kosten anfallen und die so schon jetzt miteinander vergleichbar sind. In der Industrie sind beide Konzepte anzutreffen, je nach Anforderungen, Stückzahlen

Tabelle 1: Vergleich der beiden Anschnitte

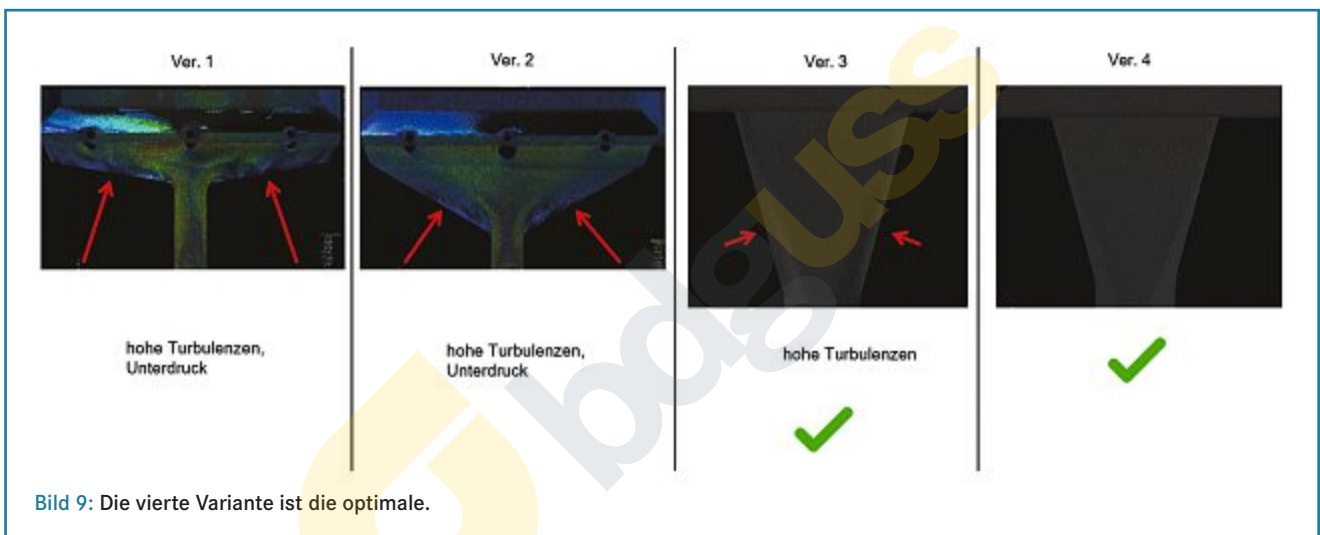
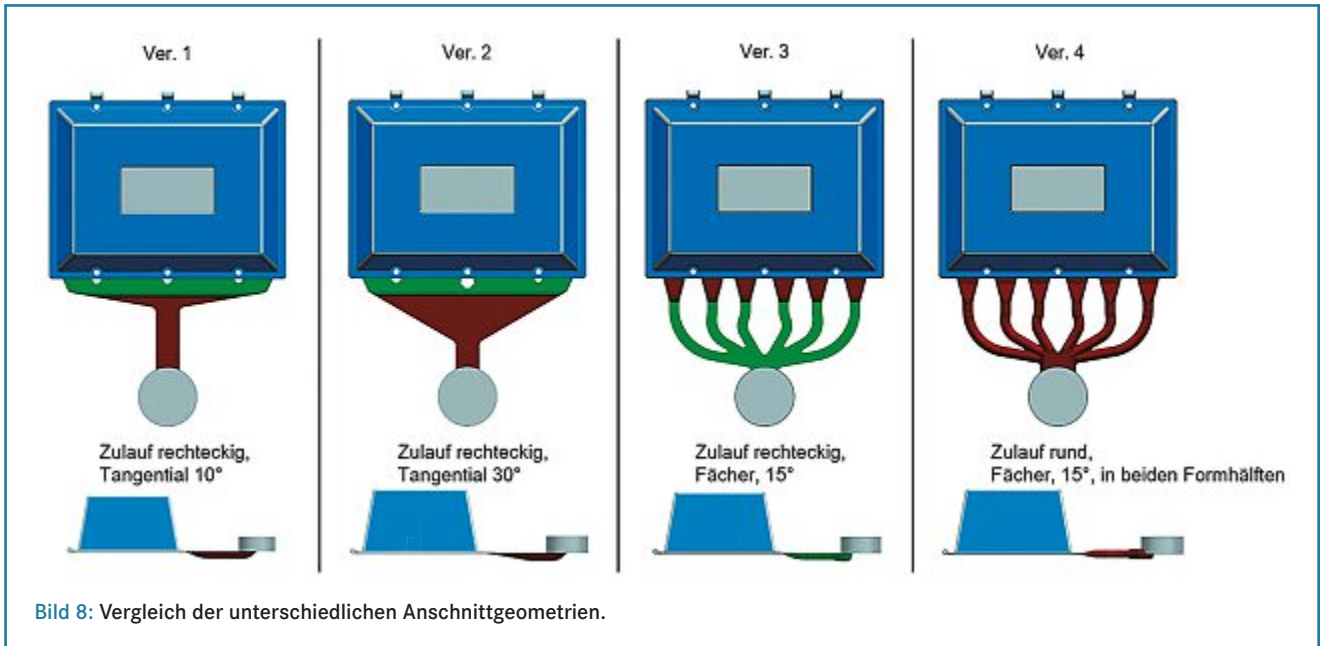
Anschnitt 1 (seitlich)	Anschnitt 2 zentral
Gleichmäßige Füllfront ↑	Füllfront ungleichmäßig →
Weniger Überläufe re./Li. ↑	Überläufe auf 4 Seiten ↓
Einfacheres Werkzeug (2 Platten) ↑	Komplexeres Werkzeug (3 Platten, höhere Kosten, Zyklus langsamer, Produktion aufwendiger) ↓
Porositäten in Gewindelöchern ↓	Porositäten in Gewindelöchern ↓
Porositäten weit vom Anschnitt entfernt (3. Phase) ↓	Porositäten nah am Anschnitt (3. Phase) (3. Phase) ↑

usw., jeweils mit zahlreichen Vor- und Nachteilen.

Für die Simulation wird der CAD-Datensatz in das Simulations-System InspireCast importiert. Als Schnittstellen stehen native Konverter zu Catia, NX, ProEngineer, Inventor und Solid Works sowie systemneutral zu STEP und Parasolid zur Verfügung. Das System arbeitet mit dem in der Industrie mittlerweile weit verbreiteten Parasolid-Kernel. In InspireCast lässt sich mit wenigen Klicks nach dem CAD-Import des Gussteils die Angussposition

genau einstellen. Die Funktionen sind so ausgelegt, dass entsprechende Geometrielemente auf die für den Anschnitt vorgesehenen Bereiche in wenigen Minuten einfach projiziert und ausgerichtet werden. Eine aufwendige CAD-Konstruktion des Angussystems in einem externen CAD-System entfällt damit.

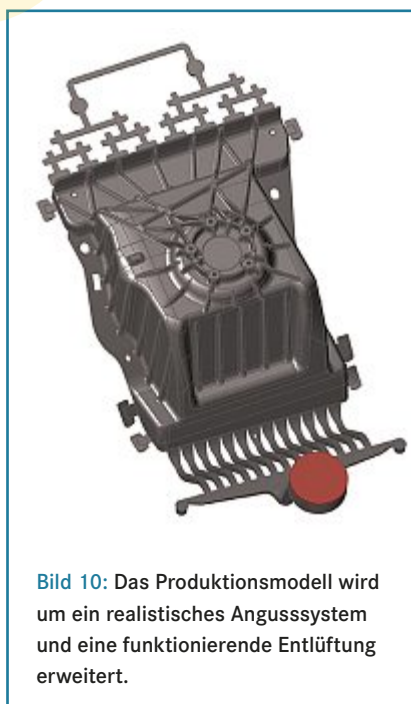
Da die 3-D-Daten häufig mehrere Schnittstellen passiert haben bevor sie ihren Weg in die Berechnungsabteilung gefunden haben, sorgen interne Reparaturmechanismen im Bedarfsfall für eine



Korrektur fehlerhafter Flächen bzw. nicht geschlossener Volumendaten. Der Zeitaufwand für Modellaufbereitung und Berechnung über Nacht kann als vernachlässigbar angesehen werden. Voraussetzung für den reibungslosen Import und eine schnelle Berechnung sind saubere CAD-Daten in den genannten Formaten seitens des Kunden bzw. der Entwicklung. Die Vernetzung erfolgt in InspireCast nach der FEM-Methode, wodurch sich die Kontur des Gussteils sehr exakt wiedergeben lässt. Weiterhin wird automatisch in dünneren Wänden (z.B. im Anschnitt) das FEM-Netz verfeinert, was die Genauigkeit erhöht.

Zeitaufwand Simulation Vergleich 2 Anguss-Systeme ohne Konstruktion:

Export CAD/Import step/parasolid: 10 min
Setup Parameter: 20 min
Berechnung Füllung/mitt. Aufl.: 4 h



Berechnung Erstarrung/mitt. Aufl.: 1 h
Gesamtzeit (pro Simu): ca. 5,5 h
Auswertung der Ergebnisse: 4 h

Gesamtzeit zur Entscheidung: 9 h

**MIT UNSEREN
INTERFACE-LÖSUNGEN
WERDEN MESSWERTE
ZU ERGEBNISSEN.**

DIE BOBE-BOX:
Für alle gängigen Messmittel, für nahezu jede PC-Software und mit USB, RS232 oder Funk.

BOBE
INDUSTRIE-ELEKTRONIK

IHRE SCHNITTSTELLE ZU UNS:
www.bobe-i-e.de

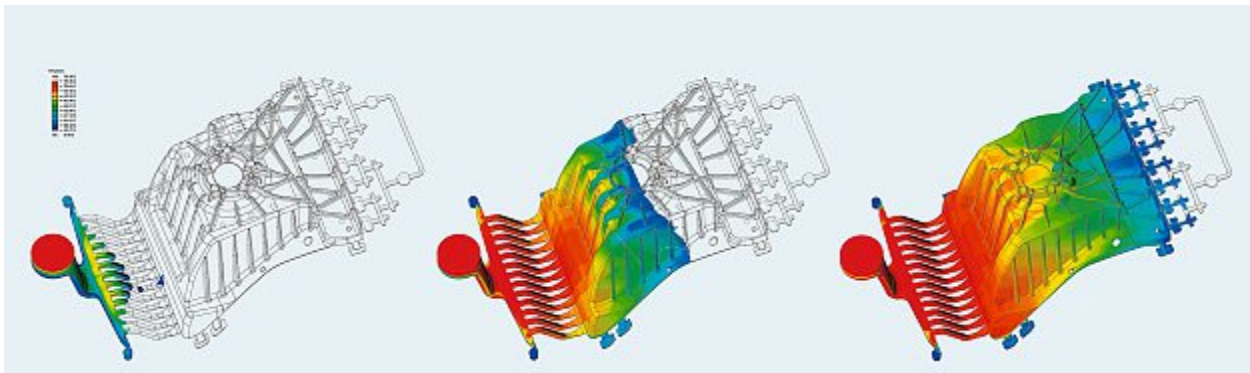


Bild 11: Simulation der Formfüllung.

Ergebnis Formfüllung Anschnitt 1 seitlich

Zu Beginn der Formfüllung zeigen sich die für das Druckgussverfahren typischen Verwirbelungen im Anschnittbereich. Seitlich des Anschnitts sammelt sich Luft, hier muss später entlüftet werden. Gegenüber dem Angussystem am anderen Ende des Bauteils ist später großflächig zu entlüften (Bild 3). Im weiteren Verlauf zeigte sich, dass die vorgesehenen seitlichen Entlüftungen größtenteils entfallen können.

Ergebnis Erstarrung Anschnitt 1 seitlich

Die Berechnung der Erstarrung zeigt Porositäten in den Anschraubdomen, die mit Kernen oder ggfs. mit Squeezern behandelt werden müssen. Eine Optimierung über die 3. Phase ist aufgrund des vorher erstarrten Anschnitts nicht möglich (Bild 4).

Ergebnis Formfüllung/Erstarrung Anschnitt 2 zentral

Die Ergebnisse illustriert Bild 5. Die Formfüllung über einen Zentralanguss zeigt sich gleichmäßig. Erkennen lässt sich die Notwendigkeit mehrerer Entlüftungspeditionen rund um das Bauteil (Bild 6). Die Situation bezüglich der Erstarrung ist nahezu identisch zum seitlichen Angussystem. Eine Beeinflussung der Porositäten bei zentralem Angussystem wird ebenfalls aufgrund der schnellen Erstarrung des Anschnitts nicht möglich sein.

Vergleich der Entlüftung seitlicher Anguss 1 und Zentralanguss 2

Der Vergleich der Luftteinschlüsse, bedingt durch Turbulenz, zeigt beim seitlichen Angussystem eine zu erwartende

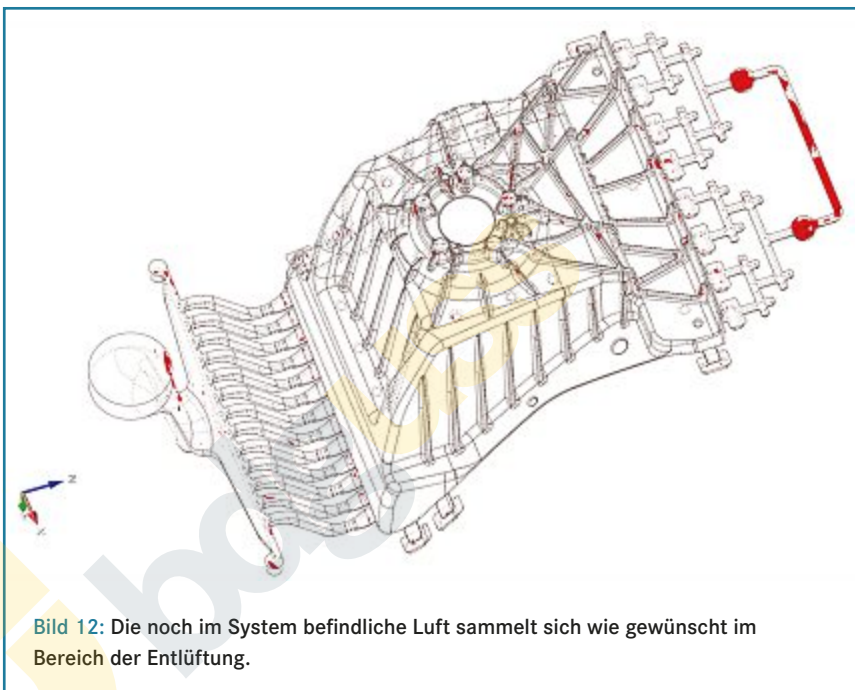


Bild 12: Die noch im System befindliche Luft sammelt sich wie gewünscht im Bereich der Entlüftung.

Konzentration gegenüber dem Anschnitt. Dort soll später das Vakuumsystem angebracht werden (Bild 7).

Vergleich der Ergebnisse

Tabelle 1 zeigt den Vergleich der beiden Anschnitte. Tendenziell ist das seitliche Angussystem in diesem Fall vorzuziehen. Wie bereits genannt sind in der Praxis beide Möglichkeiten anzutreffen, je nach Bauteilgeometrie bzw. Kostenfaktoren wie Stückzahlen oder Maschinenkapazität wird hier unterschiedlich ausgelegt.

Vorbereitung der Produktion

Damit wäre die Simulation während der Entwicklungsphase mit einer abschließenden Entscheidung beendet. Im Fall der Auftragserteilung ist nun die Produktionsvorbereitung der nächste Schritt. Dazu wird zunächst das Strömungsverhalten eines seitlichen Angussystems genauer

untersucht. Wir nutzen dabei ein einfaches Gehäuse und vergleichen unterschiedliche Anschnittgeometrien (Bild 8). Es werden zwei Tangentialanschnitte mit unterschiedlichen Zulaufwinkeln und zwei Fächeranschnitte mit unterschiedlichem Zulaufquerschnitt betrachtet. Der Tangentialanschnitt erscheint für unser Gehäuse gänzlich ungeeignet. Direkt hinter dem Zulauf, vom Kolben kommend, entstehen größere Unterdruckgebiete, einhergehend mit Turbulenz und verstärktem Luft eintrag ins Bauteil. Selbst im Fächeranschnitt bei einseitigem Zulauf (z.B. in der Auswerferseite der Form) sind noch Turbulenzen in der seitlichen Aufweitung zu erkennen (Version 3). Die optimale Variante ist am Ende der Fächeranguss mit rundem Zulauf, hier ist in der Simulation keine Turbulenz mehr auszumachen (Version 4) (Bild 9). Die Simulation belegt die Vorteile des Fächeranschnitts, der Luft eintrag in das Druckgussteil ist wesentlich geringer.

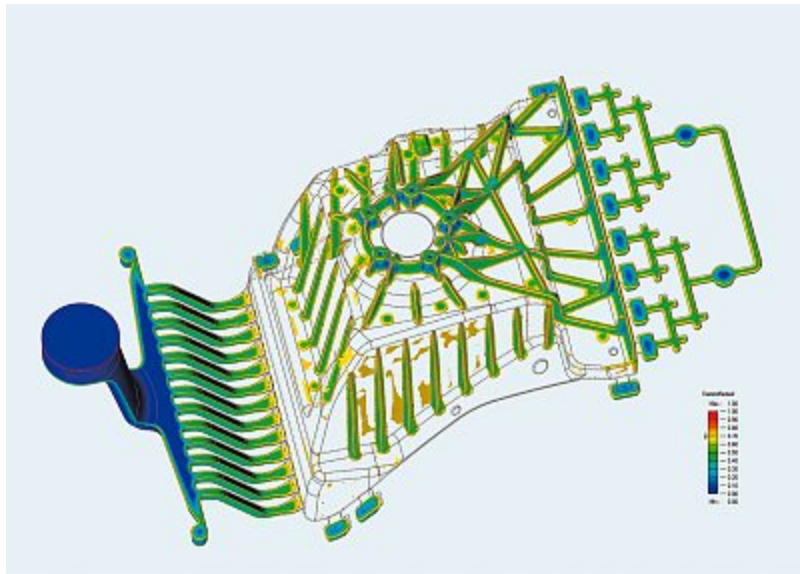


Bild 13: Das Anschnittsystem ist bereits nach 1,0 s erstarrt, sodass eine weitere Speisung der kritischen Bereiche nicht möglich ist.

Sicherlich ist Lufteintrag bedingt durch Turbulenz nicht das einzige Kriterium für eine gelungene Formfüllung. Allerdings lässt sich bereits in der Simulation mit relativ geringem Aufwand jedes Kriterium genauer untersuchen und optimieren, entsprechende Fehlerquellen werden so nach und nach reduziert. Unser Produktionsmodell soll nun den gewonnenen Erkenntnissen entsprechend um ein realistisches Angusssystem und eine funktionierende Entlüftung erweitert werden (**Bild 10**). Weiterhin sollen in der Simulation unter Produktionsbedingungen auch die Werkzeug- bzw. Einsatzgeometrie sowie die Heiz-/Kühlkreisläufe berücksichtigt werden. Dementsprechend wird unser Modell angepasst und in InspireCast definiert.

Ergebnis Formfüllung Produktionsmodell

Als Ergebnis der Berechnung betrachten wir zunächst die Formfüllung (**Bild 11**). Die Formfüllung erfolgt wie festgelegt seitlich über mehrere Fächeranschnitte. Die noch im System befindliche Luft sam-

melt sich wie gewünscht im Bereich der Entlüftung (**Bild 12**).

Erstarrung des Produktionsmodells

Wie bereits während der Entwicklung und durch die vorangegangene Simulation bestätigt wird es schwierig, die drohenden Porositäten im Bereich der Aufnahmebohrungen zu vermeiden. Das Anschnittsystem ist bereits nach 1,0 s erstarrt, sodass eine weitere Speisung der kritischen Bereiche nicht möglich ist (**Bild 13**). In den Domen können daher nur Kerne bzw. Squeezer zum gewünschten Ergebnis führen.

Einfluss der Kühlung in der Simulation

Die komplette Kühlung wurde während der Simulation berücksichtigt. Der Einfluss der Kühlung soll bereichsweise untersucht werden. Um die Porositäten ggfs. durch gezielte Kühlung zu beeinflussen, wird diese im Bereich der Aufnahmebohrungen geändert und berech-

net. Die Temperatur wird 5 s nach beendeter Formfüllung berechnet. Dazu wird einmal mit einem Abstand von 25 mm zur Kontur gerechnet und einmal mit 10 mm. Der Temperaturunterschied beträgt lediglich 2 °C. Weitere Einflüsse wie Sprühen oder Zykluszeit bleiben zunächst außen vor. Es zeigt sich, dass durch die sehr schnelle Erstarrung der Randschale im Druckguss hier nur geringe Einflussmöglichkeiten zu erwarten sind. Insofern kann man davon ausgehen, dass Squeezer zum Einsatz kommen müssen.

Fazit

Bereits während der Entwicklung von Gussteilen kann mit relativ wenig Aufwand eine aussagekräftige Formfüll- und Erstarrungssimulation berechnet werden. Die Ergebnisse liegen innerhalb weniger Stunden vor und der Aufwand für Bedienung und Berechnung sind vernachlässigbar. Voraussetzung dafür sind saubere CAD-Daten. Die Erstellung von Angeboten oder Abschätzungen hinsichtlich einer zu erwartenden Produktion werden damit entscheidend unterstützt und genauer abgebildet. Ein einfach zu bedienendes und sehr aussagefähiges Werkzeug ist mit InspireCast seit einiger Zeit erhältlich.

Für die Produktion ist ein tieferer Einstieg in die Simulation erforderlich, typische gießtechnische Anpassungen wie Gießlauf-, Anschnitt- und Überlaufgestaltung sowie Optimierung der thermischen Verhältnisse im Werkzeug sind problemlos durchführbar und optimierbar. Entsprechende vordefinierte Features sind bereits in InspireCast vorhanden. Die Rückmeldungen aus Industriebetrieben zeigen eine hohe Übereinstimmung der Simulationsergebnisse im Vergleich zu realen Bauteilen. Darauf aufbauend wird die thermomechanische Kopplung in InspireCast demnächst vorgestellt, wodurch sich weitere reale Fälle erfassen lassen.

www.inspirecast.de

Dipl.-Ing. Rainer Böke,
Böke-IE GmbH & Co. KG, Lipstadt