

BILD: MAGMA

Optimierte 3-D-Temperiersysteme steigern die Effizienz von High-Speed-Druckgießzellen

Unter dem Motto „Digital Twin meets Digital Shadow“ verknüpfte Magma auf der GIFA 2019 das Gesamtsystem „Werkzeug-Maschine-Kennzahlen“ in der realen und virtuellen Welt als interaktives Spiel.

VON WERNER SOKOLOWSKI, RONNY ASPACHER UND NIKOLAI CLAUSS, SCHORNDORF UND GOETZ HARTMANN, HARTMUT ROCKMANN UND HORST BRAMANN, AACHEN

Jede Optimierungsmaßnahme im Druckgießprozess hat das Ziel, die Verfügbarkeit, die Prozessgeschwindigkeit und die Bauteilqualität positiv zu beeinflussen. Das Thema der Temperierung von Druckgießformen ist so alt wie das Verfahren selbst. Die Zykluszeit, die Werkzeughaltbarkeit, die Mikrostruktur und der Verzug der Teile sowie andere technische und wirtschaftliche Aspekte hängen stark von den Temperaturen im Werkzeug ab. Das Layout und die prozessspezifische Optimierung der Werkzeugtemperierung sollten daher einen Schwerpunkt für das gesamte Werkzeug- und Prozessdesign bilden. Dieser Beitrag veranschaulicht die Methodik des Front-loading-Ansatzes, bei dem die Konstruktion der Werkzeugtemperierung parallel zur Teilekonstruktion entwickelt und verifiziert wird. Dieser Ansatz basiert auf dem virtuellen Formen, das durch automatisierte, virtuelle statistische Versuchsplanungen (DOE) und Optimierungsalgorithmen unterstützt wird. Die Bewertung der ermittelten Prozessvarianten orientiert sich dabei an der realen produktionstechnischen Kennzahl der Gesamtanlageneffektivität (OEE).

3-D-Temperiersysteme in Gießwerkzeugen

Die Auslegung von Gießwerkzeugen bzw. Druckgießformen geschieht meistens nach folgenden Gesichtspunkten (in der Reihenfolge ihrer Wichtigkeit): Anpassung auf die Maschine inkl. Festlegung der Anzahl der Formnester, Entformbarkeit, Werkzeugteilung mit minimalem Schieberaufwand, Auswerfer. Gieß- bzw. prozesstechnische Belange wie der strömungsgünstige Verlauf der Gießläufe oder die gesamte thermische Auslegung werden erst danach berücksichtigt. Die Definition der thermischen Prozessführung umfasst die Festlegung der Kühl- und Heiztemperaturen, der entsprechenden Heiz-/Kühlgeräte mit den erforderlichen Leistungen, der Zykluszeit etc. Dies geschieht beim Mustern und Einfahren der Form, also komplett entkoppelt von der Festlegung der Heiz-/Kühlkanäle und sonstiger Temperiereinrichtungen und -maßnahmen im Werkzeug.

Dem gegenüber steht die Tatsache, dass die thermische Auslegung eines Druckgießwerkzeuges in letzter Konse-

KURZFASSUNG:

Komplexe dreidimensionale, konturangepasste Temperiersysteme, wie sie mit generischen, additiven Fertigungsverfahren hergestellt werden können, stellen den neuesten Stand der Technik im Polymerspritzgießprozess dar. Auch beim Druckgießen machen sie auf sich aufmerksam: das Annähern von Temperiersystemen an das Bauteil erhöht die Kontrollierbarkeit der Gießprozesse drastisch und macht sie robuster, nachhaltiger und kostengünstiger. Die Auslegung konturnaher Temperierungen ist dabei zwingend im Kontext mit dem Gesamtsystem aus Druckgießzelle, Werkzeug und Fertigungsparametern zu betrachten, um einen tatsächlich zuverlässigen Druckgießprozess zu gewährleisten. Dieser Beitrag beschreibt das virtuelle Layout komplexer dreidimensionaler, konturangepasster Temperiersysteme und die Ermittlung der hierauf optimal angepassten Prozesseinstellungen.

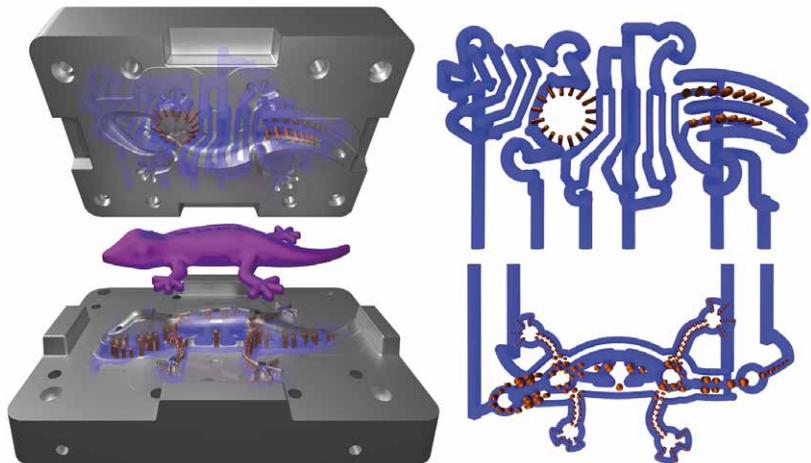


Bild 1: „Thermisch flinkes“ Werkzeug mit konturnaher und konturfolgender Temperierung, bestehend aus Temperierkanal-Mäandern und Kupferstiften zur Verbindung zwischen Temperiermedium und Kavität [1].

GRAFIK: CONTURA

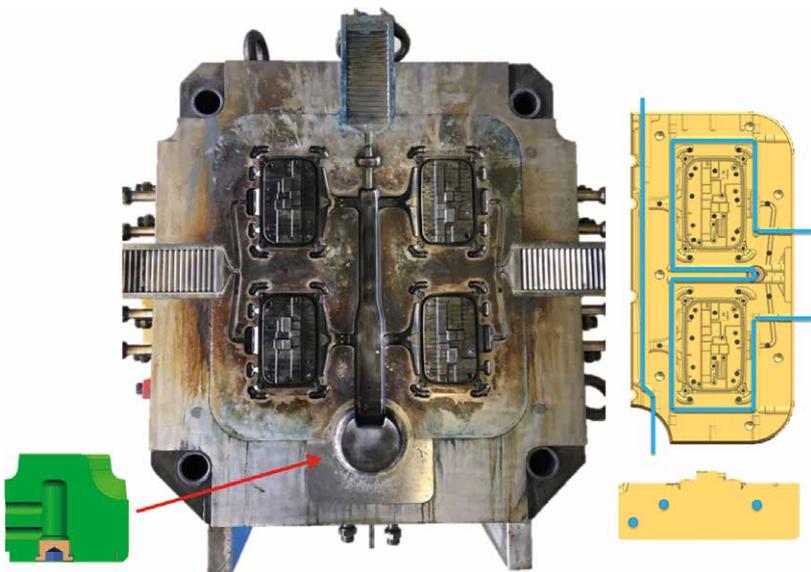


Bild 2: 4-fach Serienwerkzeug für den Kühlkörper aus Aluminium-Druckguss. Die Werkzeugeinsätze und der Amboss verfügen über konventionelle Kühlkanäle und Stichkühlungen.

GRAFIK: OSKAR FRECH



Bild 3: Schema eines dünnwandigen Druckgussbauteils (Kühlkörper) aus der Al-Legierung EN AC-AISi12 (Fe).

GRAFIK: OSKAR FRECH

quenz ein optimales Ergebnis aus dem Gießprozess, also Größen wie Gussteilqualität, Prozessstabilität, Zykluszeit oder Werkzeugstandzeit unterstützen muss. Wenn diese Größen jedoch beeinflusst werden sollen, müssen alle Einrichtungen und Maßnahmen zur Temperierung von Werkzeugen sowohl relevant für das Gießergebnis als auch gut reproduzierbar, einstell- und kontrollierbar sein. Daraus lassen sich zwingend zwei notwendige Randbedingungen für die Werkzeugtemperierung ableiten:

> Ausführung von Werkzeugsegmenten: In den thermisch relevanten Werkzeugsegmenten muss die Temperierung individuell, effizient regelbar und womöglich zeitlich variabel sein. Dazu muss das entsprechende Werkzeugsegment vor allem thermisch flink sein. Möglich ist das durch leistungsfähige Heiz-/Kühlgeräte mit der Option der variothermen Regelung und durch konturnahe und konturangepasste Temperierbereiche, die auch durch generische Verfahren dargestellt werden können.

> Entwicklungsmethodik: Die Wirkung von Temperiermaßnahmen und -parametern auf Gussteilqualität, Prozessstabilität, Zykluszeit oder Werkzeugstandzeit muss zum Zeitpunkt der Konstruktion des Werkzeugs bekannt und dokumentiert sein. Möglich ist das durch frühzeitiges virtuelles Assessment und Optimierung des Gießprozesses mit voller Berücksichtigung der zu prüfenden Temperiermaßnahmen.



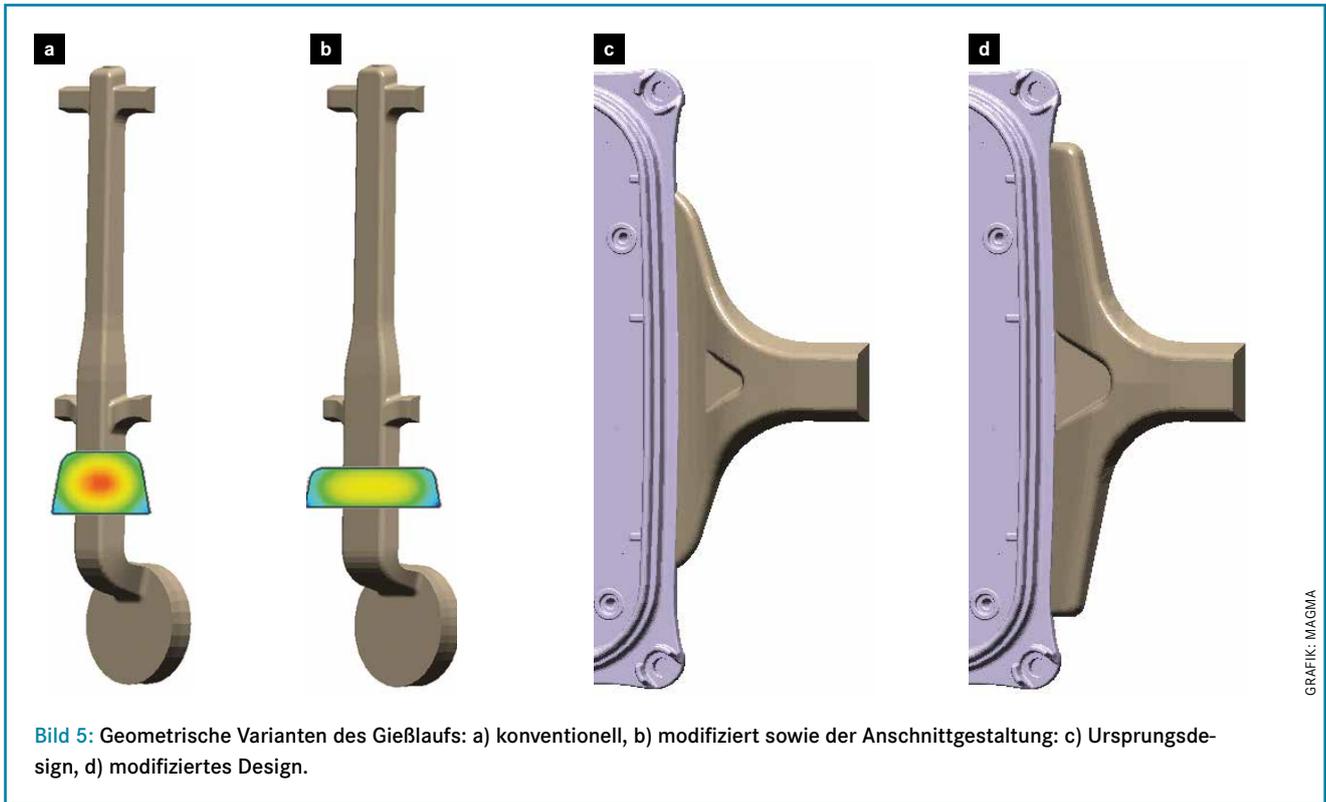
Bild 4: 4-fach-Werkzeug mit schematischer Ansicht der konturnahen Temperierungen im Bereich des Amboss und der Kavitätseinsätze.

GRAFIK: OSKAR FRECH

Thermisch flinke Werkzeugsegmente mit variothermer Temperatursteuerung (Bild 1) sind im Bereich des Kunststoffspritzgusses schon seit ca. 20 Jahren im Gespräch, markieren aber auch heute noch eher das „High-end“ der Werkzeug-

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Prozesszeiten für die Serienfertigung und für die innovative High-Speed-Gießzelle.

Serienstand DAK580		High Speed Gießzelle K640	
	in s	in s	
Schließen	2,8	2,7	
Dosieren	5,5	2,1	Start Dosieren mit "Formschutzhende" bei K640 Einsatz spezial Dosierbehälter von Meltec
Gießen			
1. Phase	1	1,2	
2. Phase	0,1	0,1	
Abkühlzeit	6	6	
Öffnen	2,5	2	
Auswerfer vor	0,5	0,4	
Entnahme	5,6	4,9	Optimierter Ablauf
Sprühen	11,5	11,5	
Auswerfer zurück 0,5 sec			Während des Sprühens
Gießkolben zurück 1,5 sec			Während des Sprühens
Wartezeit Entnahme bis Start Sprühen	2,5	2,5	Optimierter Ablauf
Gesamtzykluszeit	38	33,4	Reduzierung der Zykluszeit um 12 %



GRAFIK: MAGWA

Bild 5: Geometrische Varianten des Gießlaufs: a) konventionell, b) modifiziert sowie der Anschnittgestaltung; c) Ursprungsdesign, d) modifiziertes Design.

technik. Experten schätzen, dass konturnah temperierte Werkzeuge wie kaum eine andere technologische Entwicklung

im Formenbau in der Lage sind, die Stückkosten von Form- oder Gussteilen signifikant zu senken [1]. Die berichteten Vor-

teile im Kunststoff-Spritzgießen liegen fast immer im Bereich der Verkürzung von Zykluszeiten und verbesserter Bau-

Targi Kielce
Industrieller Herbst in Targi Kielce

METAL
28. Internationale Messe für die Gießereitechnik

29.09.-1.10.2020
Kielce, Polen

Gleichzeitig finden statt:

Der wichtigste Treffpunkt der Gießereibranche in Mittel- und Osteuropa

metal.targikielce.pl

WESTA
Fördertechnik



Stahl-Schmierbandförderer
- Auch in Edelstahl
- Plattenstärke 2,5 oder 5 oder 8 mm



Rollenbahnanlagen:
- Rollenbahnen
- Übersetzer, Drehtische
- Etagenlifte, Kurven...



Werkstückträger-Transportsysteme
- Zuführstrecke zum Roboter
- Für hohe Belastungen



Gurtförderer
- für Stück- u. Schüttgüter
- Multiengulförderer

Gutenbergstraße 2
D-67307 Göllheim
Tel.: +49 6351 / 1321-0
Fax.: +49 6351 / 1321-22
e-mail: kontakt@westa-web.de

EUROCLASS 2020
Halle 8, Stand 8-421

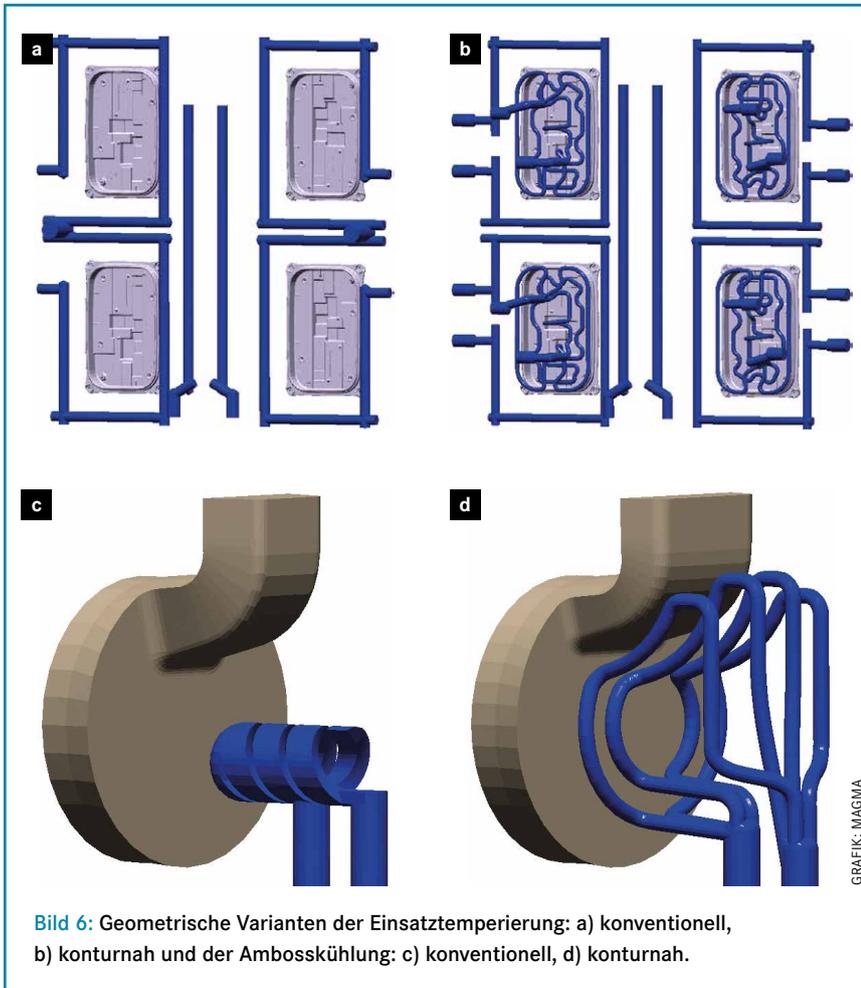


Bild 6: Geometrische Varianten der Einsatztemperierung: a) konventionell, b) konturnah und der Ambosskühlung: c) konventionell, d) konturnah.

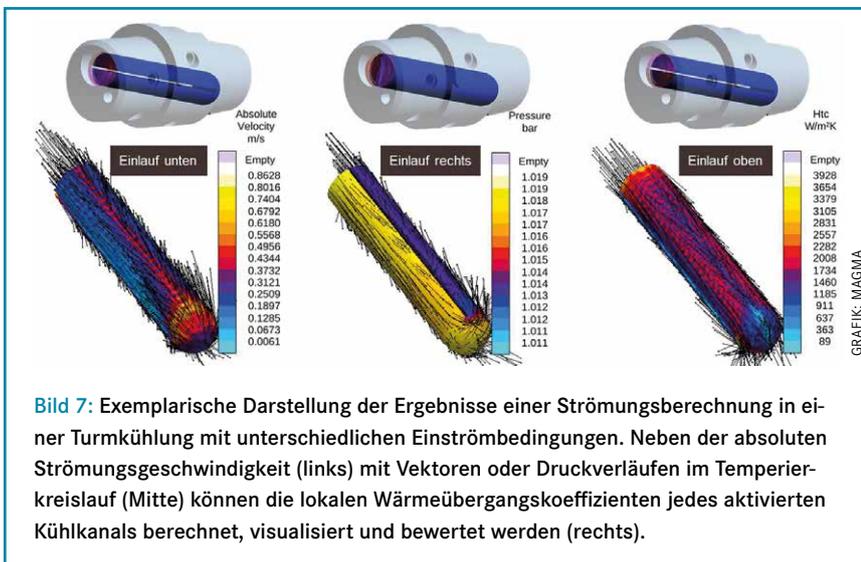


Bild 7: Exemplarische Darstellung der Ergebnisse einer Strömungsberechnung in einer Turmkühlung mit unterschiedlichen Einströmbedingungen. Neben der absoluten Strömungsgeschwindigkeit (links) mit Vektoren oder Druckverläufen im Temperierkreislauf (Mitte) können die lokalen Wärmeübergangskoeffizienten jedes aktivierten Kühlkanals berechnet, visualisiert und bewertet werden (rechts).

teilqualität. Hieraus ergibt sich auch ein gut kalkulierbarer Return on Invest (RoI) der zusätzlichen Kosten im Werkzeugbau und im Betrieb.

Auch im Bereich der Druckgießwerkzeuge werden konturnahe Temperierungen zumindest als Kernkühlung schon lange eingesetzt. Dafür, dass man über diesen schmalen Anwendungsbereich kaum hinausgekommen ist, mögen mehrere Gründe verantwortlich sein. Zu-

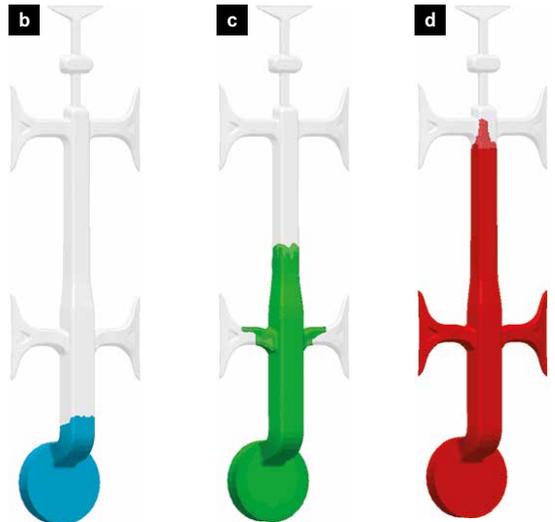
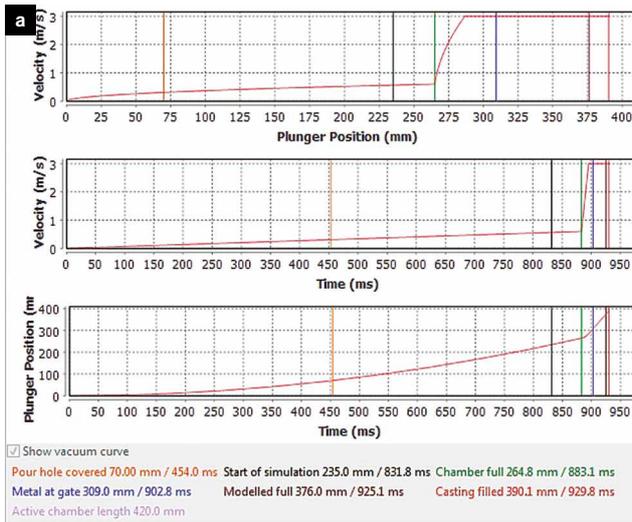
nächst gilt im konventionellen Druckgießwerkzeugbau immer noch, dass man mit Kühlbohrungen nicht näher als ca. 10 bis 15 mm an die Gravur gehen sollte. Sicherlich nachvollziehbar und richtig, wenn man den ebenfalls klassischen Gießprozess mit zwei heftigen Thermoschocks beim Schuss (hohe Druckspannungen) und beim Sprühen der Trennmittel (hohe Zugspannungen) vor Augen hat. Des Weiteren spielen die deutlich höheren Kosten

von Werkzeugsegmenten mit konturnahen und konturfolgenden dreidimensionalen Temperierbereichen eine Rolle. Im Allgemeinen stehen zum Zeitpunkt der Entscheidung über die Werkzeugtemperierung keine detaillierten Informationen über den tatsächlichen Heiz- und Kühlbedarf im Betrieb zur Verfügung. Aber genau diese Informationen werden gebraucht, um die im Wärmehaushalt des Gießwerkzeuges verborgenen Risiken und Potenziale zu erkennen, zu qualifizieren und so zusätzliche Kosten im Werkzeugbau zu rechtfertigen.

An diesem Punkt rückt die virtuelle Auslegung des Gießprozesses in den Fokus. Bereits parallel zur Konstruktion des Gussteiles ist es notwendig und möglich, den Temperieraufwand für einen sicheren und wirtschaftlichen Fertigungsprozess zu qualifizieren. Sobald 3-D-CAD-Daten eines Gussteiles vorhanden sind, liefern die ersten Simulationsrechnungen zum Gießprozess ein klares Bild von den lokal notwendigen Temperiermaßnahmen rund um die Kavität des Werkzeuges. Später, wenn Gießläufe und Entlüftungsbereiche konstruiert werden, liefern weitere, detailliertere Simulationsrechnungen zum Gießprozess die strömungstechnisch optimale Gestaltung des Gießlaufes und der Anschnitte sowie die jeweils wärmetechnisch optimale Auslegung der Temperierungen in den Bereichen von Gießkammer, Amboss und Gießlauf. Die hier beschriebene Methodik ist nicht neu, außergewöhnlich oder schwer durchführbar. Sie beruht auf Ansätzen des Collaborative Engineering (CE), deren positive Wirkung auf die Wirtschaftlichkeit von Entwicklungsprozessen schon vor 40 oder mehr Jahren ausführlich belegt wurde. Technisch gesehen wird diese Methodik von „State-of-the-Art“-CAE-Werkzeugen von 3-D-CAD- über FE-Simulationen bis zum virtuellen Assessment und zur automatischen Prozessoptimierung getragen. Heute wird CE über diese gesamte Entwicklungsprozesskette hinweg sogar durch interdisziplinäre Medien unterstützt, die eine gemeinsame Informationsplattform zwischen Abteilungen und Unternehmen mit ihren untereinander verzahnten Aufgaben darstellen [2].

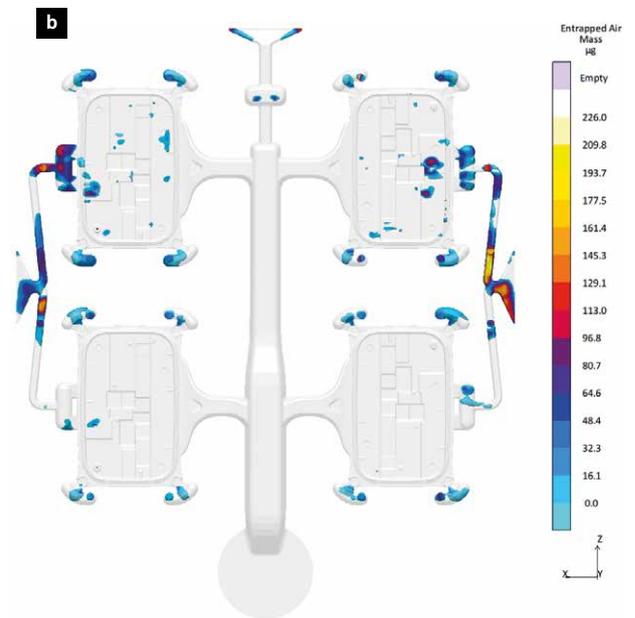
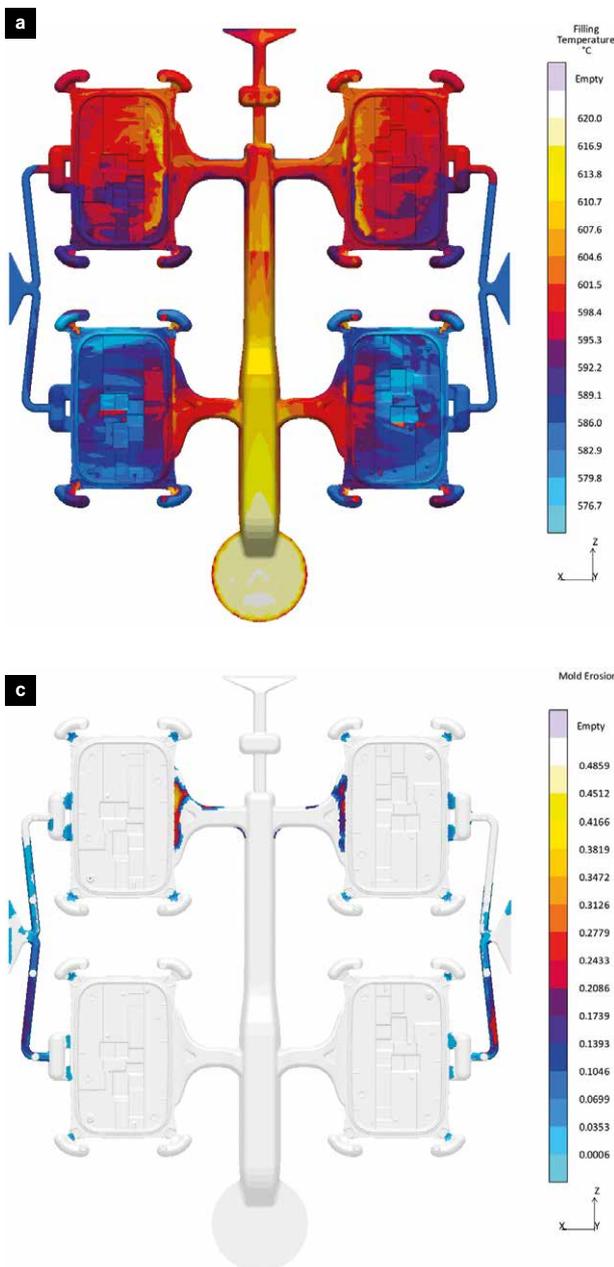
Virtuelles Assessment von Temperiersystemen beim Druckgießen

Am Beispiel der auf der GIFA 2019 von der Oskar Frech GmbH & Co. KG vorgestellten High-Speed-Casting-Cell werden die technischen Möglichkeiten in Kombination mit einer Methodik der virtuellen Prozessplanung nach dem Prinzip des CE



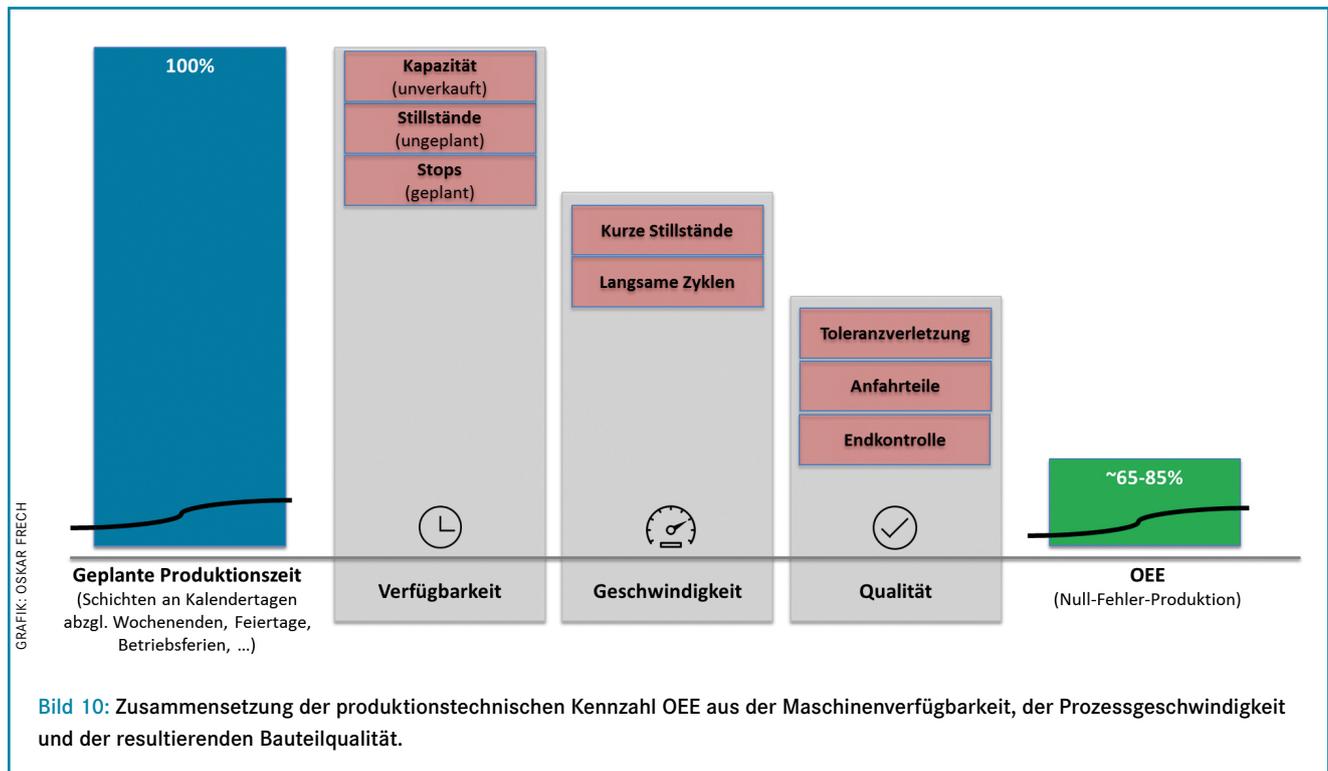
GRAFIK: MAGMA

Bild 8: Schematisches Schussprofil (a) und Visualisierung des variierten Umschaltpunktes (früh (b) / mittel (c) / spät (d)).



GRAFIK: MAGMA

Bild 9: Klassische 3-D-Magmasoft-Ergebnisse zur Bewertung von a) Fließfehlern (Fill-Temperatur), b) Ungenzen im Bauteil bzw. Porosität (Entrapped Air-Mass) oder c) Oberflächendefekten am Bauteil und Werkzeug (Mold-Erosion).



erläutert. Die Motivation für dieses Projekt war eine signifikante Produktivitätssteigerung eines Aluminium-Druckgussbauteils durch Reduzierung der Gesamtzykluszeit um mindestens 35 %. Die wirkliche Herausforderung bestand in der Ermittlung eines „optimalen Prozesses“, also des besten Kompromisses aus Produktqualität, Wirtschaftlichkeit und Robustheit der Fertigung. Ausgehend vom bestehenden Serienprozess sollte unter Verwendung modernster Anlagentechnik kombiniert mit innovativer Werkzeugauslegung und unterstützt durch eine methodische virtuelle Prozessanalyse ein Benchmark geschaffen werden.

Ausgangspunkt für das Projekt war ein in Serie laufendes Fertigungskonzept für einen Kühlkörper aus Aluminium. Die Druckgießzelle bestand aus einer Druckgießmaschine vom Typ Frech-DAK-580 mit konventionellem Dosiergerät sowie Sprüh- und Handlingstechnik. Das verwendete Werkzeug in 4-fach-Auslegung beruht auf einer klassischen Gießlaufgestaltung in vertikaler Anordnung der Nester (Tannenbaum) sowie einer Temperierung mit konventionellen Kühlbohrungen im Abstand von 10 bis 15 mm von der Formgravur (Bild 2). Das Bauteil ist eine dünnwandige Abdeckung mit Kühlrippen aus der Legierung EN AC-AISi12(Fe) für eine Elektronikanwendung aus dem Automobilbereich (Bild 3). Die wesentlichen Anforderungen an das Bauteil sind eine hohe Oberflächengüte und Maßhaltigkeit sowie eine optimale Wärmeabfuhr von

Tabelle 2: Ausgewählten quantitative Kriterien zur Beurteilung der Effektivitätssteigerung

Zykluszeit:	Füllzeit + Zeit bis Formöffnung (Erstarrungszeit im Lauf) + definierte Nebenzeiten bspw. für Sprühen/Abblasen
Gussteilqualität:	Minimale Fülltemperatur (Kaltlauffrisiko) / eingeschlossene Luftmasse in den Bauteilen * Porositätsrisiko
Produktivität:	Verhältnis Bauteil / Schussgewicht + Unterschied in der Füllzeit zwischen den oberen und den unteren Nestern
Werkzeugbelastung:	Risiko für Formerosion + Risiko für Anklebungen

den Wärmebänken über die Kühlrippen. Die korrespondierenden gießtechnischen Ziele lauten:

- > Vermeidung von Fließfehlern (Fließlinien, Kaltläufe, Oxide),
- > Vermeidung von Oberflächenfehlern durch Formerosion und Anklebungen,
- > Vermeidung großer Füllzeitdifferenzen zwischen den 4 Kavitäten des Werkzeugs,
- > Vermeidung von internen Fehlstellen aufgrund eingeschlossener Luft oder Schwindungsporosität.

Zur Steigerung der Produktivität durch Reduzierung der Gesamtzykluszeit wurde im ersten Schritt das Optimierungspotenzial durch Verwendung modernster vernetzter Anlagentechnologien untersucht. Hierzu wurde bei der Moneva GmbH & Co. KG Leichtmetallguss eine „High-Speed-Gießzelle“ aus folgenden Komponenten aufgebaut:

- > Frech-Druckgießmaschine K640,
- > Meltec-Vakuum-Dosierofen mit integriertem System zum schnellen Wiegen der

Dosiermenge (Dosiergenauigkeit und -wiederholbarkeit) sowie einer schnellen servogesteuerten Transportvorrichtung,

- > Robamat-Hochleistungs-Mehrzonentemperiergeräte für Werkzeugeinsätze, insbesondere mit konturnahen Temperierungen,
- > Spesima-Handlings- und Entnahmesystem.

Durch die konsequente Verkettung der modernen Anlagentechnologien können bei Dosierung, Formöffnung und Entnahme wertvolle Sekunden eingespart werden (Tabelle 1). Mit der High-Speed-Gießzelle kann die Gesamtzykluszeit von insgesamt 38 s (Serienprozess) auf 33,4 s reduziert werden. Dies entspricht einer Produktivitätssteigerung von ca. 12 %.

Basierend auf der neu eingerichteten High-Speed-Gießzelle wurde in einem zweiten Schritt das Potenzial einer Werkzeugoptimierung in Kombination mit weiteren Prozessverbesserungen der Temperier- und Sprühtechnologie untersucht.

Rank	Design	Zykluszeit (-)	Zykluszeitreduzierung (-)	Gussqualität (-)	Produktivität / Robustheit (-)	Werkzeugstandzeit (-)
Rank 1	Design 316	24.7	0.65	1.09	2.14	3.59
Rank 2	Design 315	24.91	0.656	1.08	2.14	3.56
Rank 3	Design 314	25.69	0.676	1.08	2.14	3.47
Rank 4	Design 313	26.05	0.685	1.08	2.14	3.45
Rank 5	Design 220	24.68	0.65	1.25	2.13	2.33

Bild 11: Top 5 Virtuelle Experimente aus dem Magmasoft-Ranking mit einheitlicher Gewichtung der Kennzahlen.

GRAFIK: MAGMA

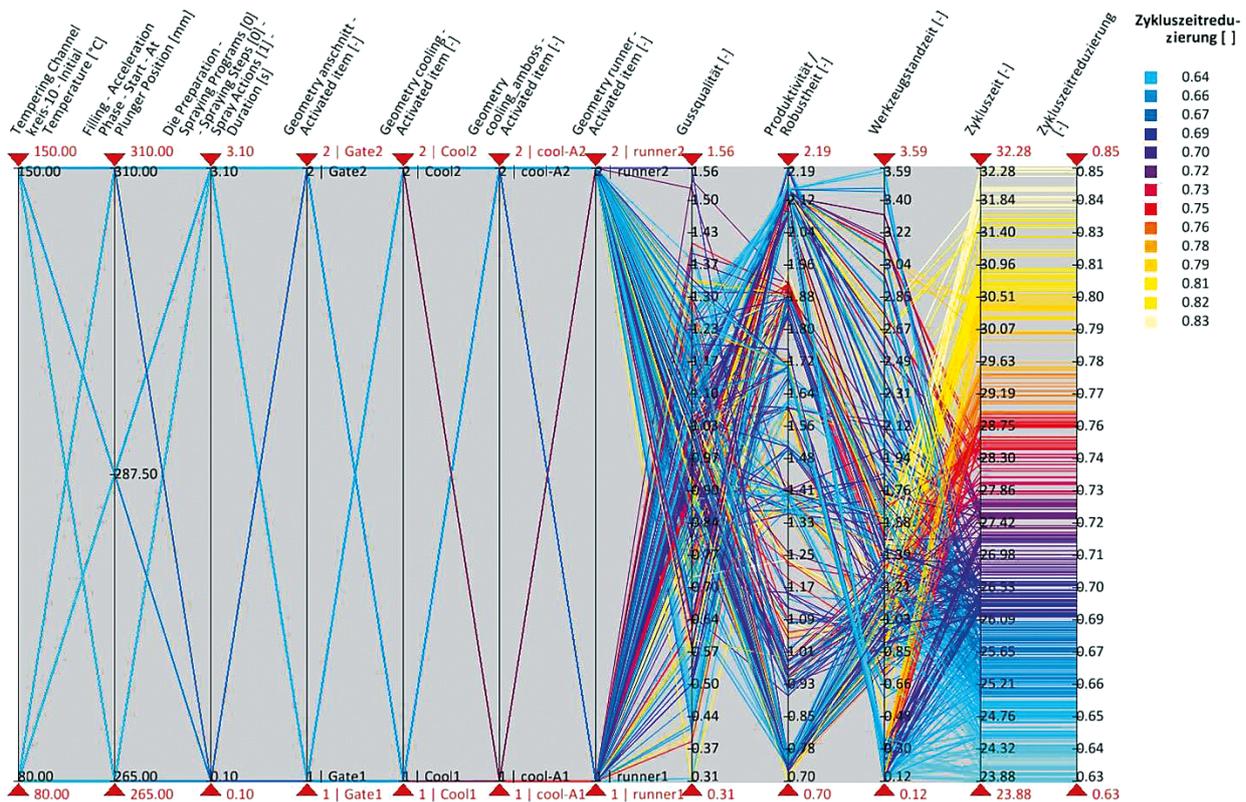


Bild 12: Interaktive Analyse und Bewertung des virtuellen Versuchsraums mithilfe des Parallelkoordinaten-Diagramms. Jeder Linienzug beschreibt eine Simulation mit der entsprechenden Variablenkombination und den resultierenden quantitativen Ergebnissen bzw. Kennzahlen.

GRAFIK: MAGMA

Ziel war die Ermittlung des besten Kompromisses aus minimaler Zykluszeit bei gleichbleibender Bauteilqualität, minimalem Ressourceneinsatz (Aluminium/Rücklaufanteil) und maximaler Werkzeugstandzeit. Im Fokus der Werkzeugoptimierung stand eine zielgerichtete Gestaltung des Gießlaufs hinsichtlich minimalem Energieeintrag und schneller Erstarrung sowie eine innovative Auslegung einer effektiven lokalen Temperierung durch konturnahe Kühlungen in der Druckgießform.

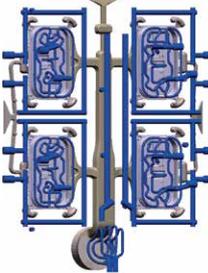
Die spezifizierete Oberflächenqualität der Bauteile erfordert eine rasche und homogene Formfüllung aller 4 Kavitäten des Werkzeugs. Im Hinblick auf die dünnwandige Bauteilgeometrie des Kühlkörpers sowie die relativ gleichmäßige Wand-

stärkenverteilung ist das Risiko für signifikante schwindungsbedingte Porosität im Bauteil gering. Das Gießlaufsystem muss demnach keine effektive Nachspeisung des Bauteils gewährleisten und kann auf Ressourceneffizienz und kurze Erstarrungszeit optimiert werden. Ein entsprechendes Gießlaufsystem mit reduzierter Masse und vergrößerter spezifischer Oberfläche wurde von der Werkzeugentwicklung der Oskar Frech GmbH & Co. KG entwickelt und konstruiert. Das endkonturnahe Design des Kühlkörpers mit minimalen Ausformschrägen erfordert einen robusten Trennstoffauftrag für den Entformungsprozess. Die konventionelle Applikation von wasserbasierten Trennstoffen durch Sprühen ist durch zwei zeitintensive Prozessphasen geprägt:

- > Lokales Abkühlen der Formoberfläche in den effektiv nutzbaren Temperaturbereich,
- > Ausblasen von Restfeuchtigkeit vor dem nächsten Gießzyklus.

Eine signifikante Reduzierung des Zykluszeitanteils für den Sprühprozess (konventionell 11,5 s) ist durch moderne wasserfreie Micro-Sprühverfahren realisierbar. Im zweiten Optimierungsschritt wurde daher die Wollin-Micro-Spraying-Technologie mit einem individuell der Form angepassten Maskensprühwerkzeug in die High-Speed-Gießzelle integriert. Im Gegensatz zum konventionellen Sprühprozess entzieht die eingesetzte Technologie der Werkzeugoberfläche nahezu keine Energie. Die Beibehaltung der Energiebilanz muss durch eine ange-

Tabelle 3: Gegenüberstellung der Prozesszeiten mit modifiziertem Werkzeug und Verwendung der Micro-Spray-Technology.

		Kühlung: konventionell		Kühlung: konturnah		
		Amboss: konventionell		Amboss: konturnah		
		Gießlauf: konventionell		Gießlauf: optimiert		
		Anschnitt: schmal		Anschnitt: breit		
		Durchflussrate: 15 l/min		Durchflussrate: 15 l/min		
		Temp. Medium: 150 °C		Temp. Medium: 80 °C		
		Sprühen: konventionell		Sprühen: Micro-Spray		
		Umschaltpunkt: spät		Umschaltpunkt: mittel		
GRAFIK: MAGMA		Virtuelles Design 118 High-Speed-Gießzelle K640				Virtuelles Design 274 K640 mit Werkzeugmodifikation
			in s	in s		
	Schließen		2,7	2,7		
	Dosieren		2,1	2,1		
	Gießen					
	1. Phase		1,2	1,2		
	2. Phase		0,1	0,1		
	Abkühlzeit		6	5,1		Reduzierung durch konturnahe Werkzeugtemperierung
	Öffnen		2	2		
	Auswerfer vor		0,4	0,4		
	Entnahme		4,9	4,9		
	Sprühen		11,5	4,5		Micro Spraying in Kombination mit konturnaher Werkzeugtemperierung
	Auswerfer zurück		0,5 sec			Während des Sprühens
	Gießkolben zurück		1,5 sec			Während des Sprühens
Wartezeit Entnahme						
bis Start Sprühen		2,5	2,5		Optimierter Ablauf	
Gesamtzykluszeit		33,4	23		Reduzierung der Zykluszeit um weitere 31%	

passte interne Werkzeugtemperierung erfolgen. Innovative konturnahe Temperierungen bieten hier eine zielgerichtete und effiziente Möglichkeit, den lokalen Temperaturhaushalt des Werkzeuges zu beeinflussen. Ausgehend von der konventionellen Temperierung wurden die relevanten Bereiche (Teileinsätze der Kavität und Amboss) unter Verwendung der Frech-Laser-Melting-Technologie (FLM) auf hocheffiziente konturnahe Kühlungen umkonstruiert (Bild 4).

Parallel zur konstruktiven Ausgestaltung und Umsetzung wurde nach dem Prinzip des Collaborative Engineering mit Magmasoft eine umfangreiche virtuelle Prozessanalyse über alle relevanten Geometrie- und Prozessparameter durchgeführt. Methodisches, virtuelles Experimentieren mit Magmasoft ist eine zukunftsweisende Arbeitsweise, um Bauteilgeometrie, Werkzeug und Fertigungsabläufe durch transparentes und quantitatives Prozessverständnis optimal und robust zu gestalten. Das Ziel der virtuellen Prozessanalyse war die Identifikation einer konkreten fertigungstechnischen Lösung, des besten Kompromisses aus Qualität und Wirtschaftlichkeit. Ein systematischer Ansatz zur Nutzung von Gießprozess-Simulation kann in folgende Schritte unterteilt werden:

- > Definition der Ziele,
- > Festlegung der relevanten Variablen: Dies können sowohl Prozessparameter als auch Geometrievariationen des Bauteils oder des Werkzeugs sein.
- > Auswahl belastbarer Qualitäts-beziehungsweise Messkriterien: Welche Ergebnisse der Simulation beschreiben die Ziele oder dokumentieren eine gewünschte Veränderung?
- > Definition der Startsequenz: Anzahl der Simulationen, die eine statistisch abgesicherte Erkenntnis liefern.
- > Zielgerichtete Auswertung der statistischen Simulationsdaten.

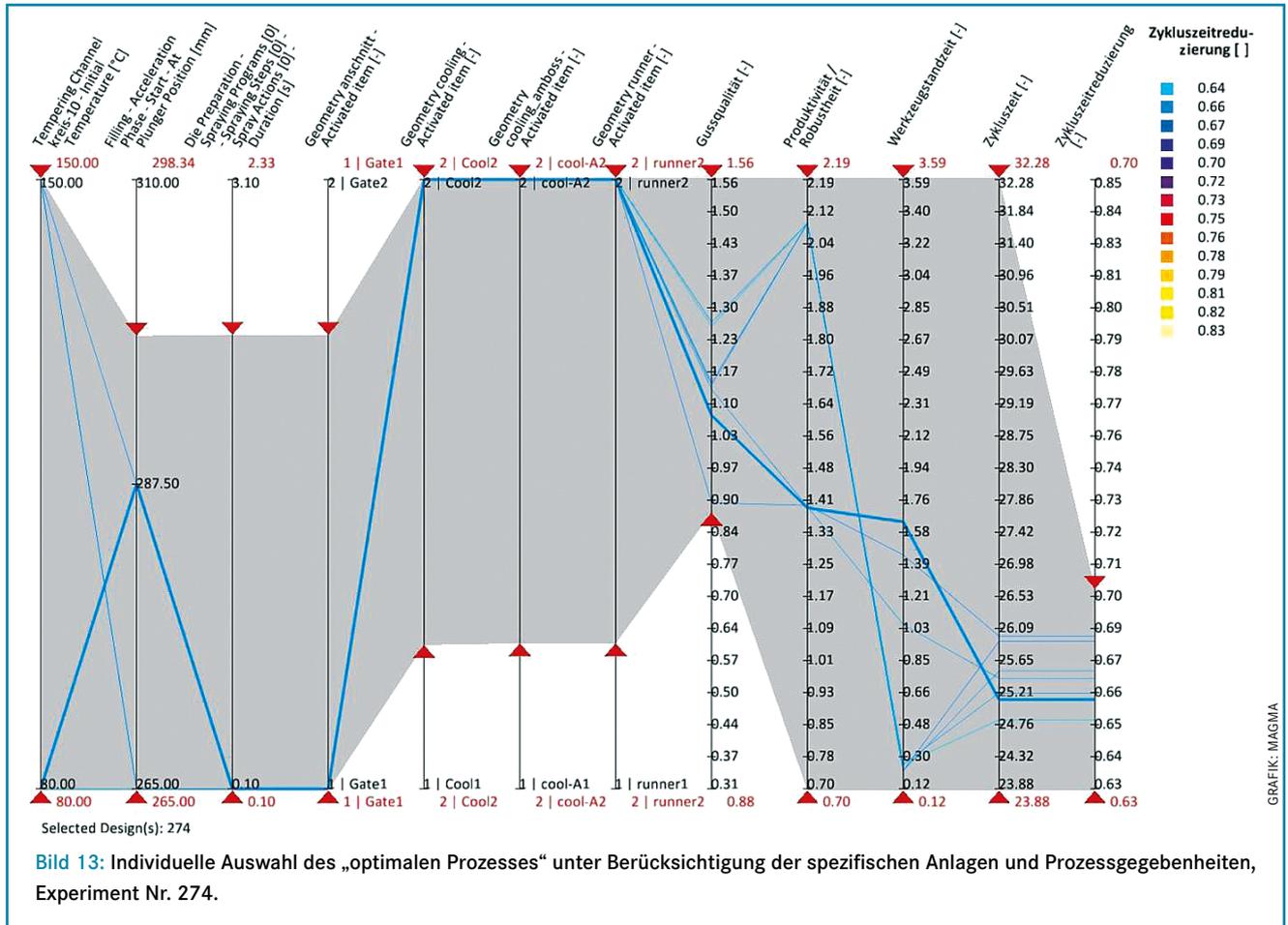
Für das virtuelle Assessment der Frech-High-Speed-Gießzelle wurden sowohl alle relevanten geometrischen Modifikationen des Gießsystems und der Werkzeugtemperierung als auch kritische Prozessparameter als Variablen berücksichtigt. Konkret wurden jeweils der ursprüngliche Zustand sowie die für den zweiten Optimierungsschritt geplanten Werkzeug- und Prozessmodifikationen in das Simulationsmodell integriert. Eingebunden wurden zum Beispiel eine ressourceneffiziente Umgestaltung des Gießlaufs hinsichtlich eines verringerten Rücklaufanteils, eines reduzierten Energieeintrags und einer beschleunigten Er-

starrung (Bild 5 a, b) sowie eine geometrische Variation der Anschnittsektion ans Bauteil im Hinblick auf eine schnelle und gleichmäßige Füllung aller vier Kavitäten mit möglichst geringen Füllzeitdifferenzen (Bild 5 c, d).

Um eine ausgeglichene Energiebilanz in Verbindung mit der geplanten Micro-Spray-Technology zu realisieren, wurde die Umstellung der inneren Werkzeugkühlung ebenfalls in das virtuelle Prozessmodell integriert. Zur Bewertung der Effektivität und Sensibilität der unterschiedlichen Kühlungsvarianten (Bild 6) wurden zusätzlich folgende Prozessparameter für die Temperierkanäle variiert:

- > Durchflussmenge zwischen 8 und 15 l/min,
- > Temperatur des Kühlmediums zwischen 80 und 150 °C.

Insbesondere bei komplexen Kühlkanalgeometrien, wie beispielsweise den oben dargestellten konturnahen Kühlungen, ist die Kenntnis über die lokal im Werkzeug realisierbare Kühl- bzw. Temperierleistung von entscheidender Bedeutung. In Magmasoft können die Strömungsbedingungen im Kühlkanal parallel zur klassischen Formfüll- und Erstarrungssimulation der Kavität berechnet werden. Am



GRAFIK: MAGMA

Beispiel einer einfachen Turmkühlung sind exemplarisch einige Ergebnisse einer Strömungsberechnung im Kühlkanal dargestellt (Bild 7). Die Berücksichtigung des konventionellen, wasserbasierten Trennstoffauftrags beziehungsweise der innovativen Wollin-Micro-Spray-Technology erfolgt im Simulationsmodell vereinfacht über definierte Sprühflächen mit unterschiedlichen Intensitäten des Wärmezugs aus der Werkzeugoberfläche.

Um die Robustheit der gießtechnischen Auslegung besser bewerten zu können, wurde als weitere Prozessvariable der Umschaltzeitpunkt in die virtuelle Untersuchung integriert, von der langsamen ersten auf die schnelle zweite Phase mit den Zuständen früh, mittel, spät (Bild 8). Wichtigster Schritt in der systematischen und zielgerichteten Nutzung der Gießprozess-Simulation ist die Definition aussagekräftiger Qualitätskriterien und Messgrößen zur Bewertung der virtuell untersuchten Prozessvarianten. Für den Kühlkörper orientiert sich die Auswahl der relevanten MagmaSoft-Ergebnisse an den definierten Anforderungen des Bauteils:

- > Fließfehler: Minimum Fill-Temperature (Kaltlaufisiko) in den 4 Kavitäten,
- > Oberflächendefekte: Mold-Erosion (Auswaschungen) und Die-Soldering (Anklebungen),

- > Füllzeitdifferenzen: Fill-Time als maximale Differenz zwischen allen Nestern,
- > Interne Fehlstellen: Entrapped Air-Mass (Gasporosität) und Porosity (Schwindungsporosität).

Exemplarisch sind nachfolgend zu den oben genannten Qualitätskriterien einige korrespondierende 3-D-Ergebnisse aus der Gießprozess-Simulation mit MagmaSoft dargestellt (Bild 9). Aus der Anzahl der definierten Variablen und deren Freiheitsgraden ergibt sich der Versuchsraum für die virtuellen Experimente:

- > Gießlaufdesign konventionell/optimiert (2)
- > Anschnittgeometrie schmal/breit (2)
- > Ambosskühlung konventionell/kontur-nah (2)
- > Einsatzkühlung konventionell/kontur-nah (2)
- > Durchflussmenge 8/15 l/min (2)
- > Mediumtemperatur 80/150 °C (2)
- > Sprühprozess konventionell/Microsprühen (2)
- > Umschaltzeitpunkt früh/mittel/spät (3).

Zur Reduzierung des Berechnungsaufwands können unterschiedliche statistische Versuchsplanungsstrategien (z.B. Sobol) zur Erzeugung der sogenannten Startsequenz angewendet werden, üblich

ist der Ansatz „statistisch abgesicherte Erkenntnisse bei minimaler Anzahl an Experimenten“. Im Rahmen des Benchmark-Projektes High-Speed-Casting-Cell wurde ein vollfaktorielles Design of Experiments (DoE) verwendet, d.h. alle 384 theoretisch möglichen Parameterkombinationen wurden simuliert. Das virtuelle Experiment Nr. 108 entspricht dem Ausgangsprozess nach der Umstellung des ursprünglichen Serienprozesses auf die High-Speed-Gießzelle. Da eine konventionelle Auswertung der virtuellen Experimente mittels 3-D-Ergebnisse nicht sinnvoll durchführbar ist, werden die Simulationsergebnisse in MagmaSoft zusätzlich nach definierten Kriterien in quantitative Zahlenwerte automatisch umgewandelt. Mit den integrierten, statistischen Analysewerkzeugen können alle untersuchten Experimente komfortabel, übersichtlich und schnell ausgewertet werden.

Die ausgewählten quantitativen Kriterien (Tabelle 2) für die Gussteilqualität, die Belastung der Druckgießform oder die Effizienz und Robustheit des Fertigungsprozesses wurden über sogenannte Use-Results zu leicht verständlichen Kennzahlen (KPI's) zusammengefasst. Die Kennzahlen orientieren sich an der realen produktionstechnischen Kennzahl OEE, die auch beim Druckgießen nach

Rank	Design	Zykluszeit (-)	Zykluszeitreduzierung (-)	Gussqualität (-)	Produktivität / Robustheit (-)	Werkzeugstandzeit (-)
Rank 67	Design 228	24.95	0.657	1.01	1.53	1.48
Rank 68	Design 88	24.56	0.646	0.974	1.36	1.64
Rank 69	Design 299	27.73	0.73	1.31	1.89	2.1
Rank 70	Design 276	23.99	0.631	0.972	1.39	1.1
Rank 71	Design 300	27.5	0.724	1.37	1.88	1.74
Rank 72	Design 270	25.5	0.671	1.15	2.09	0.219
Rank 73	Design 103	28.36	0.746	0.9	2.13	3.16
Rank 74	Design 39	25.78	0.678	1.08	1.84	1.2
Rank 75	Design 3	27.66	0.728	0.885	2.11	2.64
Rank 76	Design 274	25.11	0.661	1.08	1.39	1.64
Rank 77	Design 324	24.98	0.657	0.638	1.88	1.61
Rank 78	Design 179	24.33	0.64	0.49	1.63	2.01
Rank 79	Design 104	28.46	0.749	0.897	2.13	3.15
Rank 80	Design 80	24.33	0.64	0.76	2.08	0.215

Bild 14: Das aus der individuellen Bewertung ermittelte virtuelle Experiment Nr. 274 liegt bei einheitlicher Gewichtung der Kennzahlen im Magmasoft-Ranking auf Platz 76.

GRAFIK: MAGMA

und nach Einzug hält. Der OEE vereint als Messgröße der Effektivitätssteigerung die Kategorien Verfügbarkeit (z.B. Werkzeugstandzeit, ...), Geschwindigkeit (z.B. Zykluszeit, ...) und Bauqualität, bzw. Ausschuss (Bild 10). Die Bildung der Kennzahlen zur Beschreibung eines „optimalen Prozesses“, also des besten Kompromisses aus Produktqualität, Wirtschaftlichkeit und Robustheit der Fertigung, erfolgt durch mathematische Verknüpfung der Ergebnisse. Die virtuellen Kennzahlen entsprechen dabei nicht zwingend physikalischen Zusammenhängen und wurden zur vereinfachten Bewertung des komplexen virtuellen Versuchsfeldes auf das Referenzexperiment Nr. 108 normiert. Werte größer 1 entsprechen einer Verbesserung gegenüber dem Ausgangszustand der High-Speed-Gießzelle. Die Reduzierung der Zykluszeit ist prozentual in Referenz zum ursprünglichen Serienprozess angegeben. Auf Basis der normierten Kennzahlen wird in Magmasoft eine Rangfolge der virtuellen Experimente erzeugt (Bild 11) die, bei einheitlicher Gewichtung der Kennzahlen, eine unmittelbare Ermittlung einer optimalen Lösung ermöglicht.

Um die realen Prozessgegebenheiten zu berücksichtigen, wurde mithilfe des Parallelkoordinaten-Diagramms der virtuelle Versuchsplan detailliert und interaktiv bewertet (Bild 12). In den Spalten (von rechts nach links) sind die Variablen mit den jeweiligen Zuständen sowie die definierten Kennzahlen aufgetragen. Die Skalierung orientiert sich an der Zykluszeitreduzierung. Jede Linie im Diagramm entspricht einem virtuellen Experiment. Die Schieberegler ermöglichen eine schnelle Anpassung der gewünschten Randbedingungen und Ziele. Bild 13 zeigt eine individuelle Auswahl basierend auf

den primären Optimierungszielen für die High-Speed-Gießzelle. Das virtuelle Experiment Nr. 274 ist der gewählte Kompromiss aus Produktqualität, Wirtschaftlichkeit und Robustheit der Fertigung bei gleichzeitiger Reduzierung der Zykluszeit um nahezu 35 % gegenüber der ursprünglichen Serienfertigung. In der normierten Magmasoft-Rangfolge liegt das virtuelle Experiment Nr. 274 auf Platz 76 (Bild 14).

Nach der Modifikation des Druckgießwerkzeuges bei der Oskar Frech GmbH & Co. KG erfolgte die Implementierung des Prozesses anhand der virtuell ermittelten Parameterkombination in die High-Speed-Gießzelle. Die in das Werkzeug integrierten konturnahen Temperierungen ermöglichen in der Kombination mit dem Einsatz der Micro-Spray-Technology eine Reduzierung der Gesamtzykluszeit auf ca. 23 s (Tabelle 3). Dies entspricht – im Vergleich zum ursprünglichen Serienprozess – einer Kapazitätssteigerung von nahezu 40 %.

Intelligente Temperierung von Druckgießwerkzeugen

„Die Temperierung von Druckgießwerkzeugen kommt zum Schluss“, nach diesem Prinzip werden heute im Allgemeinen Positionen und Dimensionen von Temperierkanälen ausgelegt. Wenn zu diesem Zeitpunkt keine Informationen über den Wärmehaushalt des Werkzeuges im Betrieb vorliegen, geht das auch nicht anders. Die Vorgehensweise ist jedoch keinesfalls zeitgemäß. Man verzichtet auf die Potenziale des im Maschinenbau seit 140 Jahren bekannten Frontloadings, der seit 30 Jahren verfügbaren Möglichkeiten der computergestützten optimierten Auslegung von Gießprozessen und der modernen, teilweise generativen Fertigungstechno-

logien für konturnah und konturangepasst temperierte Werkzeugsegmente. Die genannten Potenziale sind bekannt und quantifizierbar, es bedarf im Einzelfall nur der Entscheidung für eine andere Vorgehensweise. Die im vorliegenden Beitrag vorgeschlagene Methodik ermöglicht neben der Identifizierung der konkreten fertigungstechnischen Lösung für das Werkzeug und den Gießprozess, die Festlegung des besten Kompromisses, den der Gießer hinsichtlich Qualität und Wirtschaftlichkeit anstrebt. Nahezu frei von wirtschaftlichen oder produktiven Risiken können beliebige Szenarien auf ihren Beitrag zur Steigerung der Effizienz (OEE) einer Druckgießzelle hin untersucht werden. Durch die methodische Vorgehensweise lassen sich Korrelationen zwischen Fertigungsparametern und Qualitätsmerkmalen des Gussteils auch für komplexe Fragestellungen systematisch und früh in der Entwicklungsprozesskette generieren. Entscheidungen werden auf der Basis eines CAE-Entwicklungsprozesses, bei dem Bauteil und Prozess vom Konstrukteur und Gießer simultan optimiert werden, abgesichert und unterstützen damit den Produktentwickler, den Werkzeugbauer und den Giebereifachmann bei der Auslegung robuster, kosten- und ressourceneffizienter Produkte und Prozesse.

Dr. Waldemar Sokolowski, Ronny Aspacher und Nikolai Clauss, Oskar Frech GmbH & Co. KG, Schorndorf, Dr.-Ing. Götz Hartmann, Dipl.-Ing. Hartmut Rockmann und Dr. Horst Bramann, MAGMA GmbH, Aachen

Literatur:

- [1] *Kunststoff + Verarbeitung (2019), [Nr. 40], S. 65.*
- [2] *Giesserei 106 (2019), [Nr. 11], S. 81.*

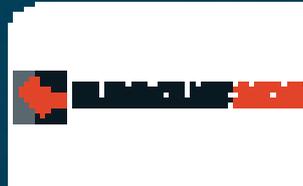
Unsere Vision der Digitalen Zelle.

Unsere Vision ist 0% Ausschuss, 40% weniger Zykluszeit und 24/7 Verfügbarkeit - um eine effizientere und profitablere Zukunft für die Druckindustrie zu erreichen.

Weitere Informationen:



<https://digitalcell.hellergroup.com/de>



Treffen Sie uns an
der Eurogress
in Nürnberg
Halle 7 - 313

Stellen Sie sich vor
0% Ausschuss
**40% reduzierte
Zykluszeit**
24/7 Verfügbarkeit