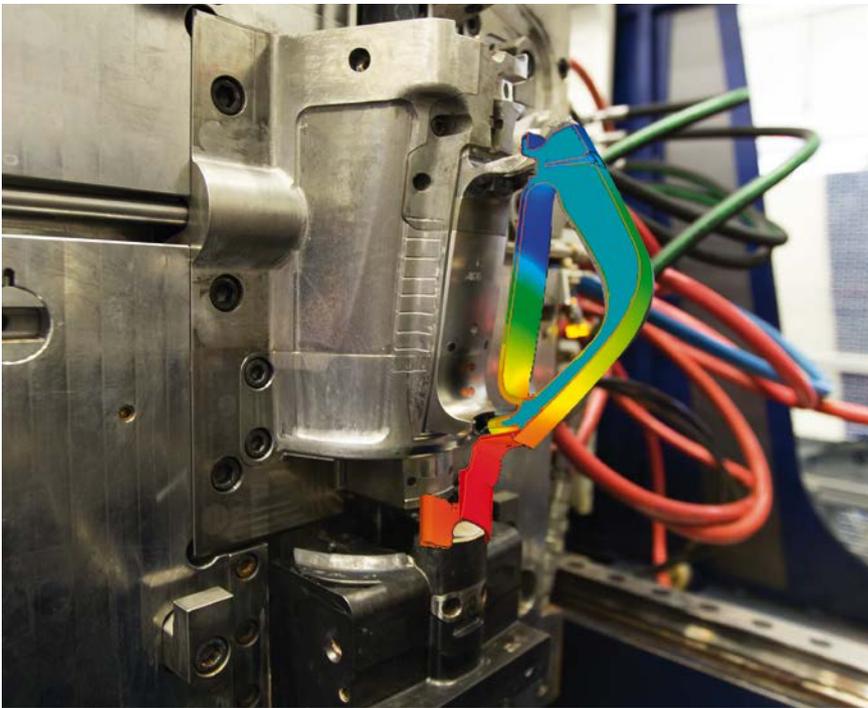


# Im Wasser liegt die Kraft

## Fluidinjektionstechnik und ihre Simulation: die Kombination für eine Effizienzsteigerung

Kurze Produktlebenszyklen und hohe Bauteilanforderungen verlangen effiziente Produktentwicklungsmethoden. Dazu sind – neben neuen Prozessführungsstrategien – Simulationen in einem frühen Stadium der Produkt- und Werkzeugentwicklung ein wichtiger Baustein. In diesem Beitrag wird die Simulation der Wasserinjektionstechnik am Beispiel eines prominenten Küchengeräts validiert. Dabei werden einander auch zwei Verfahren der Fluidinjektionstechnik (FIT) gegenübergestellt.



Schnittdarstellung der WIT-Simulation des Griffs für den Mixtopf des Thermomix mit Darstellung der Wasserblase samt Auswerferseite des Werkzeugs (© Vorwerk und SimpaTec)

Die Fluidinjektionstechnik (FIT) ist ein etabliertes Spritzgieß-Sonderverfahren zur Herstellung von komplexen, qualitativ hochwertigen Kunststoffhohlkörpern [1] mit funktionalem Hohlraum wie z.B. Medienleitungen. Außerdem wird die FIT dazu verwendet, Masseanhäufungen in flächigen Formteilen mit Rippen oder Formteilen mit dickwandigen Bereichen zu reduzieren. Diese Masseanhäufungen führen zu Schwindung und Verzug bzw. Einfallstellen sowie zu längeren Zykluszeiten, bedingt durch eine höhere Restkühlzeit. Die Beseitigung einer sol-

chen Masseanhäufung ist ein wirtschaftlicher Vorteil, nicht nur, weil sie die Zykluszeit verkürzt, sondern weil sie auch das Formteilgewicht verringert und somit einen Vorteil in leichtbaurelevanten Anwendungsbereichen wie der Automobilindustrie bietet.

Die Gasinjektionstechnik (GIT) und die Wasserinjektionstechnik (WIT) sind zwei Varianten der Fluidinjektionstechnik, bei denen entweder Gas oder Wasser als Fluid verwendet wird – mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen. Durch die Stoffeigenschaften des Wassers weist die

WIT gegenüber der GIT eine höhere Kühleffizienz auf [2] und ist demzufolge das wirtschaftlichere Verfahren. Die WIT unterliegt jedoch gewissen Einschränkungen bei der Auswahl des Kunststoffes. Das Wasser kann die Bildung von Fehlstellen fördern oder sich negativ auf das Eigenschaftsbild mancher Kunststoffe auswirken. Die eingesetzten Polymere müssen daraufhin optimiert werden, was wiederum die Wirtschaftlichkeit beeinträchtigen kann.

### Die Restwanddicke als Qualitätsmerkmal

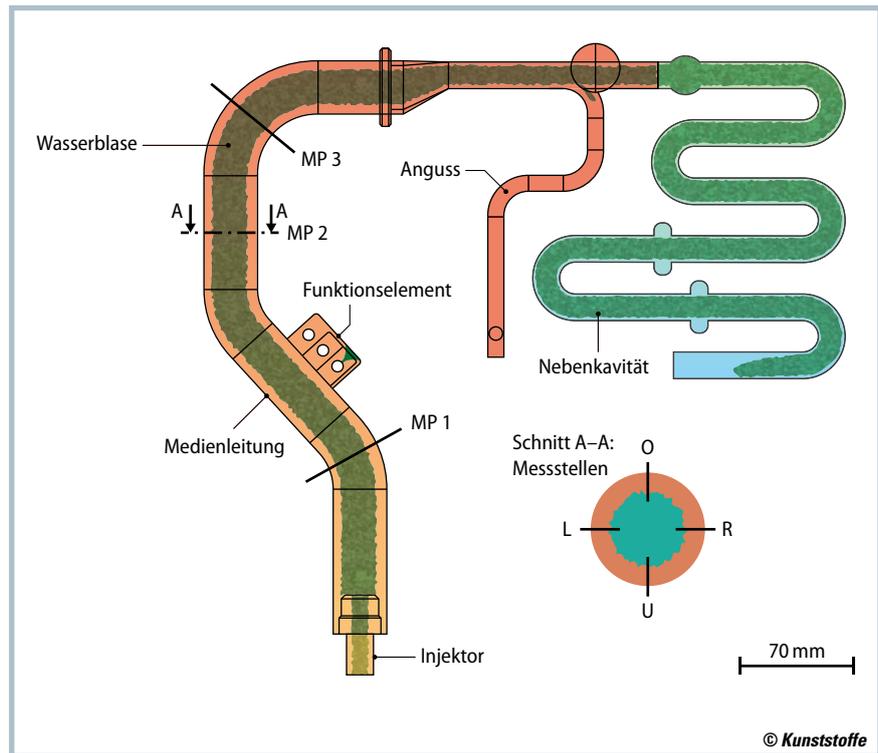
Die Restwanddicke des Hohlkörpers und deren Verteilung haben einen unmittelbaren Einfluss auf die Strömungseigenschaften des Mediums sowie die Stabilität des Bauteils [3]. Somit ist die Restwanddicke eines der wichtigsten Qualitätskriterien für Hohlkörper. Die Restwanddicke wird dabei einerseits von den fluidspezifischen Prozessgrößen, wie Prozessfluid, Druckhöhe, Haltezeit und Verzögerungszeit sowie andererseits von den Parametern des Spritzgießprozesses, z.B. der Werkzeug- und Schmelztemperatur etc. beeinflusst. Darüber hinaus haben auch die Viskosität der Kunststoffmasse [4] und die Geometrie des Bauteils Auswirkungen auf die Restwanddicke.

Das Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) an der RWTH Aachen hat die Güte der WIT-Simulation mit Blick auf die Restwanddicken untersucht, und zwar mit einem Simulationspaket von Moldex3D (Anbieter: CoreTech System Co., Ltd., Taiwan). Diese Spritzgießsimu-

lationssoftware kann sowohl die Gas- als auch die Wasserinjektionstechnik abbilden.

### Validierung der Simulation mit Vergleich der Kühleffizienz WIT vs. GIT

Zur Validierung der Simulation werden Bauteile mit Medienleitung und Funktionselement eingesetzt, die mit dem Nebenkavitätsverfahren hergestellt werden. Die Kavität wird bei dieser Verfahrensvariante vollständig mit Kunststoff gefüllt. Im Anschluss wird die plastische Seele der Kunststoffschmelze durch injiziertes Wasser in eine Nebenkavität verdrängt und so ein Hohlraum ausgeformt. Für eine Gegenüberstellung der simulierten Restwanddicken sowie der empirisch ermittelten Daten wird die 3 $\sigma$ -Regel verwendet. Nach dieser Regel gilt die Simulation als hinreichend genau, wenn die Simulationsergebnisse im Bereich der dreifachen Standardabweichung der vermessenen Bauteile liegen. Die Bauteile werden jeweils an drei Messpositionen (MP) ge- »



**Bild 1.** Simulation der Medienleitung mit Wasserblase und Verteilung der Messpositionen sowie Messstellen der Restwanddicken über dem Querschnitt (Quelle: [5])

schnitten und die Ausräumung anhand des freigelegten Querschnitts an vier Messstellen vermessen (**Bild 1**). Die Ausräumung stellt das Verhältnis zwischen freiem Fließquerschnitt und Kavitätsquerschnittsfläche dar.

Im Simulationsprogramm wird dies erreicht, indem virtuelle Messknoten an den jeweiligen Stellen positioniert werden. MP1 unterliegt in Realität durch eine turbulente und nicht ausgebildete Strömung sehr großen Schwankungen und wird deshalb bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Dies lässt sich durch Einlaufeffekte am Injektor begründen. Somit wird MP2 ausgewählt, weil an dieser Position die Wasserströmung vollständig ausgebildet ist, sodass Einlaufstörungen dort nicht mehr bestehen. MP2 befindet sich zusätzlich in einem geraden Abschnitt, sodass die symmetrische Ausformung des Hohlraums untersucht werden kann.

MP3 befindet sich in der Mitte der 90°-Umlenkung zur Untersuchung der sich ausbildenden Restwanddicken bei veränderten Strömungsverhältnissen. Die Innenseiten von Umlenkungen bieten dabei einen energetisch günstigeren Strömungspfad, sodass sich die Hohlraumausbildung zum Inneren der Krümmung verschiebt. Um dieses Phänomen zu untersuchen, wird anhand der Restwanddicken die Exzentrizität (E) bestimmt. Die Hohlraumexzentrizität repräsentiert den Abstand zwischen den Mittelpunkten des Hohlraums und der Kavität. Außerdem wird die Ausräumung (A) bewertet.

Insgesamt werden vier Versuchspunkte analysiert, wobei jeweils einer der Prozessparameter Wassertemperatur ( $T_W$ ), Druckhöhe ( $p_W$ ) oder Haltezeit ( $t_H$ ) variiert wird. Die Prozessparameter für das Einspritzen der Kunststoffmasse bleiben wie bei den realen Versuchen für jeden Ver-

suchspunkt unverändert. Die Fluidparameter für den Versuchspunkt (**Bild 2**) betragen  $T_W = 25^\circ\text{C}$ ,  $p_W = 20\text{ MPa}$ ,  $t_H = 5\text{ s}$  und Verzögerungszeit  $t_V = 6,5\text{ s}$ . Alle Simulationsergebnisse der Restwanddicke, Exzentrizität und Ausräumung für diesen Prozesspunkt liegen erkennbar im  $3\sigma$ -Bereich (**Bild 2**) und gelten somit als hinreichend genau.

Als weiterer Aspekt wird die Kühleffizienz der WIT und der GIT miteinander verglichen. Das untersuchte Bauteil ist wiederum eine Medienleitung und weist Umlenkungen bis ca.  $150^\circ$  sowie eine Querschnittserweiterung auf. Im Gegensatz zum vorherigen Bauteil wird dieses mit dem Aufblasverfahren hergestellt. Dabei wird die Kavität in der Füllphase mit der Kunststoffschmelze teilgefüllt und in der Fluidphase durch die Fluidinjektion ausgeformt. Die Nebenkavität entfällt bei diesem Prozess.

## Die Autoren

**Cristoph Hinse** ist Geschäftsführer der SimpaTec GmbH in Aachen.

**Nuno Ribeiro Simões** ist Mitarbeiter bei SimpaTec.

**Dipl.-Ing. Stefan Hofmann** ist Geschäftsführer der Werkzeugbau Siegfried Hofmann GmbH, Lichtenfels.

**Prof. Dr.-Ing. Christian Hopmann** ist seit 2011 Leiter des Instituts für Kunststoffverarbeitung (IKV) und Inhaber des Lehrstuhls für Kunststoffverarbeitung an der RWTH Aachen.

**Dr.-Ing. Matthias Theunissen** ist seit 2015 Leiter der Abteilung Spritzgießen am IKV.

## Dank

Unser Dank gilt der Vorwerk & Co. KG, Wuppertal, für die Zusammenarbeit und die Möglichkeit, dieses praxisbezogene Anwendungsbeispiel zu veröffentlichen.

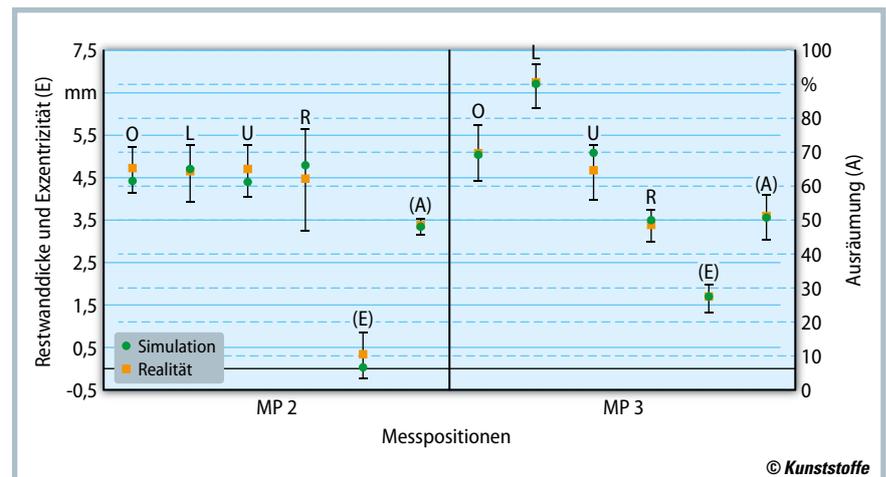
## Service

### Literatur & Digitalversion

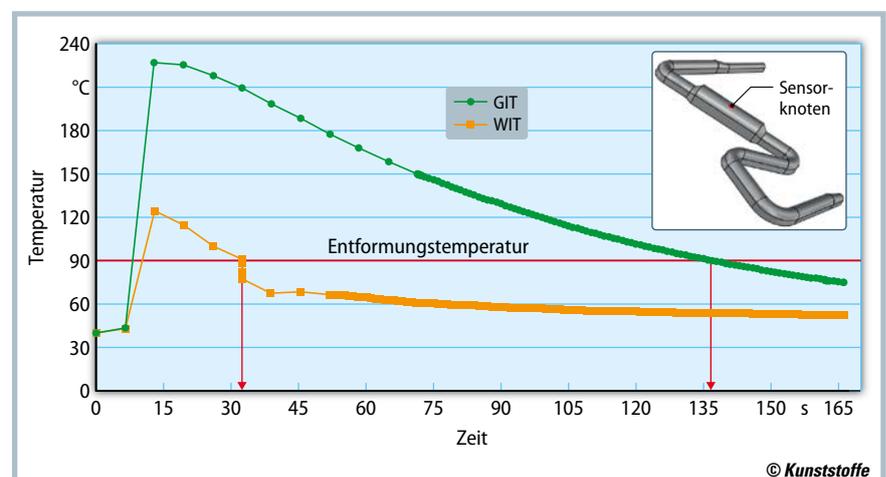
- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/5776889](http://www.kunststoffe.de/5776889)

### English Version

- Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)



**Bild 2.** Vergleich zwischen Realität und Simulation anhand der Restwanddicken (O, L, U, R), Exzentrizität (E) und Ausräumung (A) für MP 2 und MP 3 mit Angaben des  $3\sigma$ -Bereichs (Quelle: [6], IKV)



**Bild 3.** Numerische Gegenüberstellung der Kühleffizienz von WIT und GIT mit Angabe der Sensorposition an der Medienleitung für die Messung (Quelle: IKV)



**Bild 4.** Der Thermomix wird aufgrund seiner digitalen Fähigkeiten inzwischen sogar als „iPhone aus Wuppertal“ bezeichnet

(© Vorwerk)

Als Bezugstemperatur für den Vergleich der Kühleffizienz wird eine Entformungstemperatur von 90 °C gewählt. Die Simulation der WIT erreicht diese Temperatur bereits nach 33 s, die der GIT benötigt dafür 138 s (**Bild 3**). Dies entspricht einem Kühlzeitunterschied von 76 %, wodurch die WIT stark verkürzte Zykluszeiten zulässt. Dieser Wert deckt sich in guter Näherung mit dem Wert von 70 %, der in praktischen Versuchen ermittelt wurde [3].

### **Entscheidungshilfe in der Praxis: Welches Verfahren ist geeignet?**

Die Vorwerk & Co. KG, Wuppertal, ist bekannt für ihre qualitativ hochwertigen und innovativen Haushaltsprodukte, wie z.B. die multifunktionale Küchenmaschine Thermomix (**Bild 4**). Der Griff an deren Mixtopf weist im Bereich des Handgriffs einen relativ großen Querschnitt auf und eignet sich somit für den Einsatz der Fluidinjektionstechnik. Aus Gründen sowohl der eben erläuterten höheren Kühleffizienz als auch der Reduzierung von Schwindung und Verzug (hier im Griffbereich) – gleichbedeutend mit einer insgesamt höheren Wirtschaftlichkeit – entschied sich Vorwerk für die Wasserinjektionstechnik.

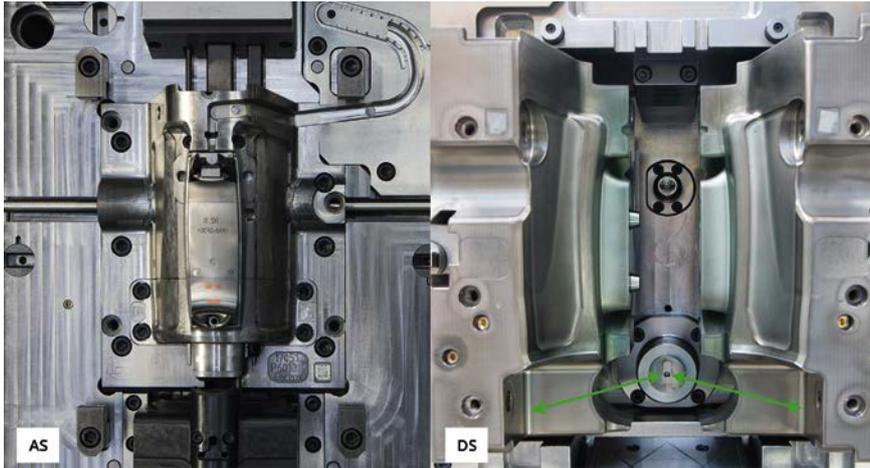
Der Haushaltsgerätehersteller entwickelte das Werkzeug in Zusammenarbeit mit der Werkzeugbau Siegfried Hofmann GmbH, Lichtenfels. Das Einfach-Werkzeug (**Bild 5**) beinhaltet in

der Auswerferseite einen axialen Injektor, die dem Mixtopf zugewandte Seite des Bauteils und den Nebenkavitätsraum. Die Düsen­seite besteht aus zwei Schieber­elementen, die beim Öffnen und Schließen des Werkzeugs durch eine translatorische Bewegung (V-Bewegung) auseinander bzw. zueinander bewegt werden und somit die Handgriffseite des Mixtopfgriffs abbilden.

Bedingt durch die Hinterschneidung an der Griff­fläche ermöglicht diese Konstruktion die Herstellung des Griffs für den Mixtopf. Zudem wurde die Oberfläche des Griffbereichs strukturiert, um den

Kunden eine angenehmere Haptik zu bieten. Die beiden Werkzeugseiten werden zusätzlich unterschiedlich temperiert, die Auswerferseite auf 35 °C und die Düsen­seite auf 65 °C, um der Gesamtdeformation entgegenzuwirken.

Als WIT-Verfahrensvariante wurde das Nebenkavitätsverfahren ausgewählt, weil sich beim Einsatz des Aufblasverfahrens wegen der Querschnittunterschiede in der Geometrie bzw. des Füllbilds kein Hohlraum im Bereich des größten Querschnitts erzeugen lässt. Außerdem würde bei Verwendung des Aufblasverfahrens an der Stelle der Teil­füllung »



**Bild 5.** Auswerferseite des Werkzeugs (links) und Düsenseite des Werkzeugs (rechts) mit Schieberelementen im geöffneten Zustand (© Vorwerk)

höchstwahrscheinlich eine Fließmarkierung entstehen.

Das eingesetzte PA6 mit 30% Glasfasern (Typ: Schulamid 6GF30HIWIT; Hersteller: A. Schulman GmbH) wurde für den allgemeinen Einsatz in der WIT entwickelt. Die Griffe werden auf mehreren hydraulischen Spritzgießmaschinen (Typ: Victory180; Hersteller: Engel Austria GmbH) in einer Zykluszeit von ca. 52 s hergestellt. Im Anschluss entnimmt ein lineares Handlingsystem das Bauteil samt Kaltkanal und Nebenkavität aus dem Werkzeug.

In einer Zwischenstation werden automatisch Kaltkanal und Nebenkavität vom Formteil getrennt. Gleichzeitig wird die Wassereintrittsöffnung (Injektorposition) mit einer Kunststoffkugel versiegelt, um einen Wassereintritt im Alltagsgebrauch, z.B. beim Spülen, zu vermeiden. Anschließend wird das Bauteil vom Handlingsarm auf ein Laufband gelegt und bis

zur Endmontage zwischengelagert. Jährlich entstehen so 1,2 Mio. Griffe für den Mixtopf des Thermomix.

### **Simulation des Griffs für den Thermomix**

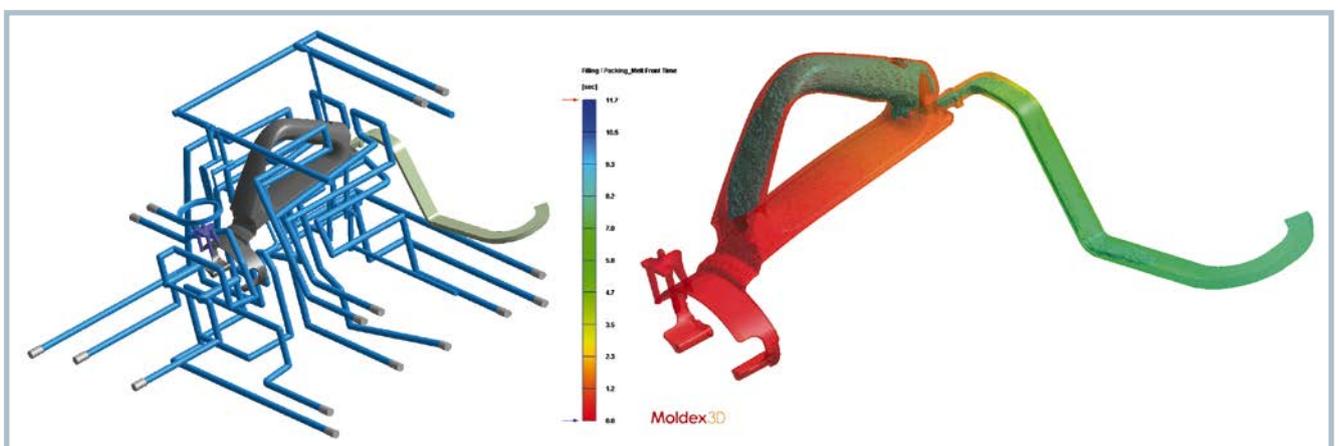
Bereits in einem frühen Stadium des Werkzeugdesigns zog Hofmann die Simulation als Hilfsmittel heran, um im Vorfeld unterschiedliche Angussysteme, Kühlkanalvarianten und Prozessvarianten durchzuführen. Durch dieses Vorgehen wurden teure und langwierige Iterationsschritte an realen Werkzeugen eingespart. Die Simulationen wurden mit der Unterstützung der SimpaTec GmbH, Aachen, durchgeführt, die als Lösungspartner für die Kunststoffindustrie in den Bereichen Spritzgieß-, Thermoform- und Blasformsimulation agiert und die Software Moldex3D im deutschsprachigen Raum vertreibt.

Im Simulationsmodell sind der Kaltkanal, das gesamte Temperiersystem (zehn Kühlkanäle), die Wassereingangsposition, die Nebenkavität, die Formteilkavität und das Werkzeug als Gesamtumhüllende vorhanden (**Bild 6**). Alle Komponenten wurden dreidimensional aus Tetraederelementen automatisch vernetzt, wobei die Formteilkavität aus einem Boundary Layer Mesh (BLM) besteht.

Das BLM setzt sich am Formteilerand aus bis zu fünf Prismaschichten und im Inneren aus Tetraederelementen zusammen. Diese fünf Schichten ermöglichen es, an der Wandung, dem Bereich der größten Gradienten, die relevanten physikalischen Größen, wie z.B. Schergeschwindigkeit oder Temperatur, genauer zu erfassen bzw. besser aufzulösen. Die Simulation hat auch dazu beigetragen, das Prozessfenster einzugrenzen. Somit konnten kostenintensive Maschinenzeiten und Materialkosten eingespart werden.

### **Fazit**

Die realen Restwanddicken werden durch die Simulation der Wasserinjektionstechnik mit Moldex3D in äußerst guter Näherung abgebildet. Die Simulation bietet nicht nur die Möglichkeit, einen Spritzgießprozess darzustellen, sondern auch zwei Verfahrensvarianten miteinander zu vergleichen, um sich bereits im Vorfeld für das effizientere Verfahren zu entscheiden. Am Anwendungsbeispiel des Griffs für den Mixtopf des Thermomix sind mit der Simulation teure und langwierige Iterationsschleifen am realen Werkzeug sowie teure Maschinenzeiten zum Einfahren des Prozessfensters eingespart worden. ■



**Bild 6.** Übersicht des Simulationsmodells mit Temperiersystem, Kaltkanal, Kavität und Nebenkavität (links). Simulation des Griffs für den Mixtopf des Thermomix mit Darstellung der Wasserblase in Formteil und Nebenkavität (rechts) (© SimpaTec)