

Aus dem Schatten ins Licht

Teil 7 der Serie: Wie der digitale Schatten im PIC 4.0 den realen Prozess belichtet

Der digitale Schatten ist das Kernkonzept des Exzellenzclusters „Internet of Production“ an der RWTH Aachen. Er repräsentiert die Datenspur eines Assets zur Beschreibung seines realen Verhaltens. Im Plastics Innovation Center 4.0 (PIC 4.0) werden digitale Schatten, z. B. die Datenspur eines Sensors, genutzt, um Prozesse unter Berücksichtigung des Realverhaltens zu optimieren und die Simulationsgüte zu ermitteln.

Wirtschaft und Wissenschaft bemühen sich stets, Produktionsprozesse vollumfänglich zu erfassen und zu modellieren, um in kürzester Zeit und unter möglichst geringem Ressourceneinsatz hochwertige Produkte herzustellen. Die Möglichkeiten, komplexe Wechselwirkungen zwischen Prozesseinstellungen und Regelgrößen vorherzusagen und die Produktqualität zu beeinflussen, nehmen zu, wenngleich Prädiktionen rechenintensiver werden und ein automatisierter Abgleich mit der Realität noch immer sehr kostenintensiv ist oder ausbleibt. Der digitale Schatten zielt hingegen darauf ab, das Realverhalten eines Prozesses beispielsweise durch die Datenspur eines Sensors zu erfassen und in Modellberechnungen zu berücksichtigen [1].

Testbeds erzeugen anwendungsfallbezogene digitale Schatten

Die konsequente Verknüpfung von Maschinen und Anlagen innerhalb des PIC 4.0 ermöglicht es, eine Vielzahl realer Prozessdaten zu erfassen. Um wissenschaftliche Methoden und Ansätze stärker in reale Produktionsumgebungen zu integrieren, müssen diese unterschiedlichen Datenspuren allerdings zielgerecht aufbereitet und analysiert werden. Hierzu werden im PIC 4.0 Testbeds eingerichtet, mit deren Hilfe das Zusammenspiel von Software-Services und realem Versuchsstand zu einer bestimmten Fragestellung getestet werden kann [2]. Die initialen Testbeds fokussieren dabei u. a. den Einfluss eines Rezyklateinsatzes in der Spritzgießproduktion einschließlich der damit einhergehenden Materialaufbereitung und andererseits die Synchronisierung von qualitätsrelevanten Datenspuren, um datengetriebene Quali-



Der Bau des PIC 4.0 schreitet voran und wirft seinen Schatten auf den Campus Melaten © IKV

tätsregelungen zu verbessern und die Simulationsgüte im Hinblick auf das reale Prozessverhalten zu bestimmen.

Für die fokussierte Betrachtung von Fragestellungen der Qualitätskontrolle wird eine modulare Messzelle in einen Spritzgießprozess integriert. Hierzu wird derzeit neben der Bestimmung des Formteilgewichts u. a. geprüft, inwiefern sich die optische 3D-Vermessung inkl. CAD-Output des realen Bauteils sowie die Vermessung der Oberflächenstruktur mittels Weißlichtinterferometrie und Laserscanning-Methode dafür eignen. Die einzelnen Datenspuren dieser Messsysteme sollen um die Datenspuren der Spritzgießmaschine sowie eine vollumfängliche Erfassung und Auswertung von Werkzeuginnen- und Temperatursignalen ergänzt werden. Abschließend soll auch die Düse der Spritzgießmaschine mit Sensorik ausgestattet werden, sodass die Vorgänge im Schneckenraum zur Modelloptimierung berücksichtigt werden können. Durch den Aufbau des Testbeds lässt sich

das volle Potenzial der einzelnen Messsysteme im Fertigungsverbund bei individueller Betrachtung wie auch in Kombination eruieren.

Softwareseitig bestehen einerseits Herausforderungen im Datenhandling sowie in der automatisierten Synchronisierung und Zuordnung der Datenspuren zu einem Produktionslos oder sogar dem einzelnen Bauteil. Andererseits werden durch die Verknüpfung neue Analyseservices zur Optimierung des Prozesses und der Prädiktionsmodelle möglich. Hierzu wird ein System entwickelt, das Signale direkt einem simulierten Softsensor in der Füllsimulation zuordnet und die reale Fließfrontgeschwindigkeit zum Abgleich mit dem simulierten Ideal am Bedienerterminal ausgibt. Dadurch werden weitere Assistenzsysteme z. B. zur Optimierung der Einstellparameter hin zu einer konstanten Fließfrontgeschwindigkeit als Qualitätskriterium realisierbar.

Untersuchungen zur Fließfrontgeschwindigkeit und zur geometrieabhän-

gigen Prozessführung sind derzeit Gegenstand verschiedener Forschungsprojekte am Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Aachen. Durch das geplante Testbed in einem realen Demonstrator werden die Forschungsergebnisse für den schnellen Technologietransfer in die industrielle Anwendung zugänglich.

Simulation, Maschine und Werkzeug liefern verschiedene digitale Schatten

Insbesondere bei komplex geformten Spritzgussteilen können aufgrund von Änderungen des Fließquerschnitts zu hohe oder zu niedrige Fließfrontgeschwindigkeiten auftreten [3–5]. Ein Ansatz, dadurch auftretende Qualitätsmängel zu verhindern, besteht darin, durch geschickte Einstellung der Einspritzgeschwindigkeit eine konstante Fließfrontgeschwindigkeit zu gewährleisten [6–8]. Die Fließfrontgeschwindigkeit selbst bei konstanter Einspritzgeschwindigkeit nachzuvollziehen oder gar mit einem Einspritzprofil zu kor-

relieren ist jedoch kaum möglich. Eine Lösung bietet die Füllsimulation, die jedoch nur bedingt mit dem realen Prozess übereinstimmt.

Für die Implementierung des angedachten Assistenzsystems wird angenommen, dass die Füllsimulation das grundlegende Füllverhalten und den Fließweg hinreichend genau abbildet. Die Feinjustierung der simulierten Fließfrontgeschwindigkeit an den realen Prozess erfolgt über die Verbindung der Datenspuren aus Maschine, Sensorik und Simulation. Eine Bedienerschnittstelle an der Spritzgießmaschine soll es ermöglichen, die simulierten Sensorpositionen intuitiv realen Sensorsignalen zuzuordnen. Zusätzlich wird die Korrelation zwischen Sensordaten und einem definierten Füllstand durch die Verknüpfung gewährleistet. Die Simulationssoftware, die Werkzeugsensorik und auch die Spritzgießmaschine selbst stellen dabei Datenspuren mit unterschiedlichem Aussagegehalt bereit (Bild 1).

Der digitale Schatten bringt Klarheit

Der digitale Schatten der Maschine gibt Einblick in das reale Anfahrverhalten der Schnecke und den dadurch induzierten Volumenstrom. Dieses Anfahrverhalten und die nicht ideale Volumenstrom- und Druckübertragung vom Plastifizieraggregat stellen Hauptgründe für die Abweichungen zwischen Simulation und Realität dar. Auch das Schließverhalten der Rückströmsperre und das Verlustvolumen, das über die Schneckengänge zurückfließt, nehmen signifikanten Anteil daran, dass gemessen an der Schneckenposition ein abweichendes Schmelzevolumen aufdosiert und eingespritzt werden muss. Selbst bei Kenntnis eines simulierten Füllvorgangs und des virtuell optimierten Prozesspunkts fällt es schwer, die richtige Parametereinstellung an der Spritzgießmaschine festzulegen.

Neben dem markierten Umschalt- punkt (Bild 1 oben links) bei 1,368 s für die volumetrische Füllung des Bauteils »

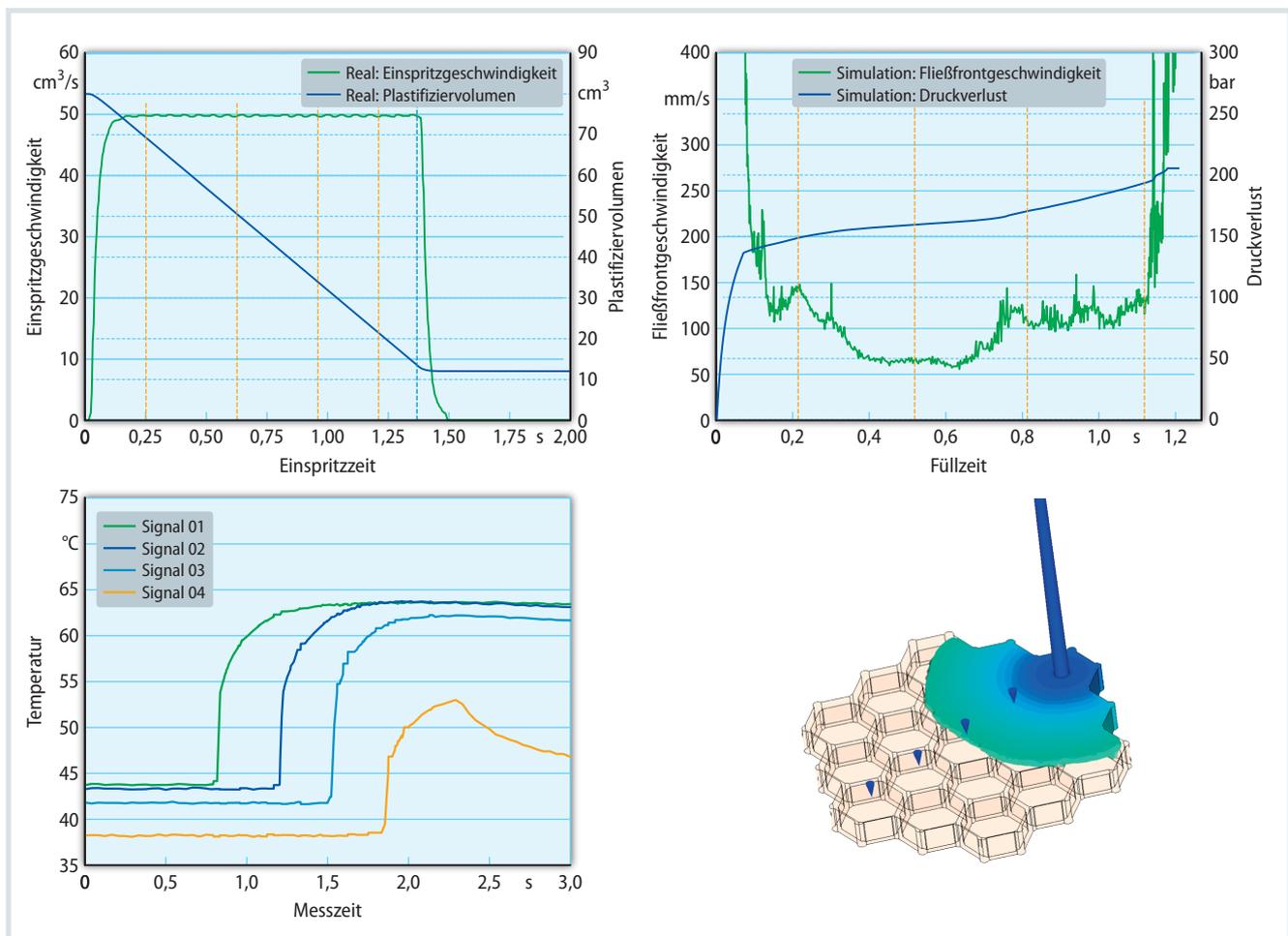


Bild 1. Datenspuren der Spritzgießmaschine zum Schneckenvorschub (links oben), der Simulation zur Fließfrontgeschwindigkeit (rechts oben) und der Sensorik zum realen Füllverhalten (links unten) am Beispiel einer Wabenstruktur Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

Exzellenzcluster IoP

Das Exzellenzcluster Internet of Production (IoP) ist ein interdisziplinäres Forschungsprojekt, das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert wird. In der ersten Förderperiode (01/2019 – 12/2025) forschen wissenschaftliche Mitarbeiter von mehr als 25 Instituten und hochschulnahen Einrichtungen gemeinsam an Themen der digitalisierten Produktionstechnik für nachhaltige Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie. Innerhalb des PIC 4.0 soll die Zukunftsforschung des IoP in reale Demonstratoren überführt werden.

Die Autoren

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Hopmann

ist seit 2011 Inhaber des Lehrstuhls für Kunststoffverarbeitung und Leiter des Instituts für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen.

Pascal Bibow, M.Sc. RWTH beschäftigt sich am IKV seit September 2016 mit intelligenten Produktionssystemen und ist seit Januar 2020 Geschäftsführer des Plastics Innovation Center 4.0 am IKV; pascal.bibow@ikv.rwth-aachen.de

Dank

Die Errichtung des Plastics Innovation Center 4.0 wird gefördert durch Mittel des Landes NRW und aus dem Europäischen Fond für Regionale Entwicklung (EFRE).

Die Serie geht weiter

Der folgende Beitrag beschreibt, wie flexible Strukturen eine wandlungsfähige Testumgebung und somit ein kontinuierliches Innovationsmanagement ermöglichen. Er erscheint in Heft 3/2022.

Service

Literatur & Digitalversion

- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/onlinearchiv

English Version

- Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

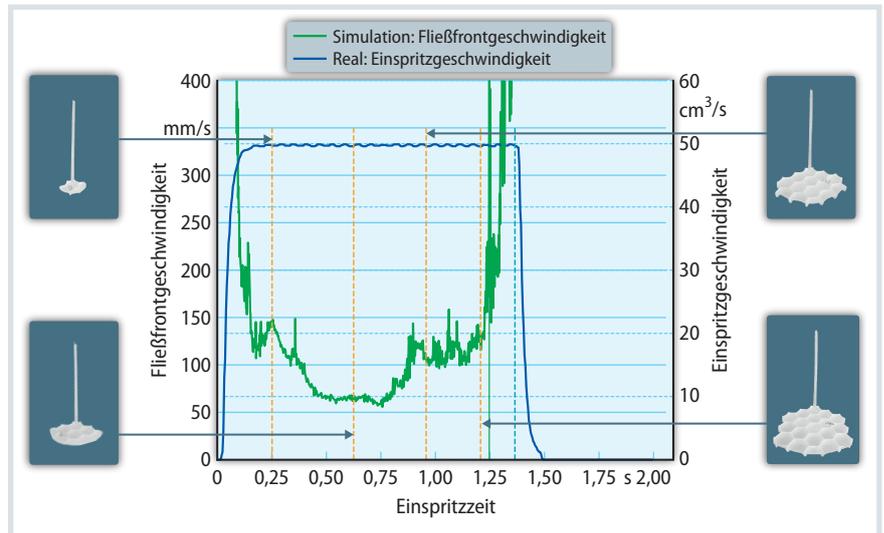


Bild 2. Die Verknüpfung von Datenspur aus Simulation und Maschine ermöglicht weitergehende Optimierungsschritte des Einspritzprofils an der Spritzgießmaschine Quelle: IKV; Grafik: © Hanser

sind auch vier Sensorpositionen hervorgehoben. Innerhalb der Kavität sind vier piezoelektrische kombinierte Temperatur- und Drucksensoren verbaut, die Einblick in das reale Füllverhalten des Bauteils geben. Aufgrund der unterschiedlichen Erfassungssysteme, z.B. direkt über die Spritzgießmaschine oder über eine separate Messwerterfassung, sticht die Schwierigkeit heraus, wie sich die Messschriebe synchronisieren lassen. Erreicht die Fließfront einen Sensor, ist dies durch den Temperaturschlag sehr gut erkennbar, ebenso wie der abrupte Temperaturabfall am Ende des Fließwegs (Sensorsignal 4) zur Zeit des Umschaltpunkts (**Bild 1 unten links**). Dadurch können auch die weiteren Sensorsignale eindeutig zugeordnet werden, sodass sich die relevante Messzeit der Sensorik im digitalen Schatten des Spritzgießsystems direkt mit der Füllzeit korrelieren lässt.

Die dritte Grafik (**Bild 1 rechts**) zeigt eine dem Prozesspunkt entsprechende Simulation des Füllvorgangs. Die Sensorpositionen können analog zum realen Werkzeug positioniert werden, um Simulation und Realprozess miteinander abzugleichen. Anhand der Ergebnisdateien der Prozesssimulation kann man die Fließfront nachvollziehen und die durchschnittliche Fließfrontgeschwindigkeit zu jedem Füllgrad berechnen. Hierzu werden zu jedem Knoten des Simulationsnetzes Zeitpunkt der Füllung, Füllgrad, Druckverlust sowie die Geschwindigkeit der Schmelze simuliert. Aufgrund der idealisierten Systemannahmen beim Aufsetzen der Prozess-

simulation und bei Vernachlässigung der maschinenbedingten Einflüsse weichen die Füllzeit wie auch die Zeitpunkte, zu denen die Knotenpunkte der Sensorpositionen erreicht werden, von der Realität ab. Die Verbindung der einzelnen Datenspur ermöglicht es schließlich, Simulation und Realität aufeinander abzustimmen (**Bild 2**). Hierzu werden sowohl die simulierte Fließfrontgeschwindigkeit an die reale Füllung angepasst als auch die Zeitintervalle zwischen den jeweiligen simulierten und realisierten Sensorsignalen, an denen die Schmelze die Sensoren erreicht.

Bedienerfreundliche Prozesseinstellung

Das Assistenzsystem soll dem Bediener die Feinjustierung des Einspritzprofils unter Berücksichtigung der Bauteilgeometrie direkt an der Maschine ermöglichen. Gleichzeitig wird das System die Forschenden innerhalb des PIC 4.0 in die Lage versetzen, durch Kombination digitaler Schatten diesen und weitere Optimierungsansätze datenbasiert für die industrielle Anwendung zu evaluieren, beispielsweise indem sie Datenspur zum Schmelzedruck im Schneckenraum hinzuziehen oder den automatisierten Abgleich zwischen realisierter und simulierter Bauteilqualität durch integrierte 3D-Messung des Produkts berücksichtigen. Dadurch wird das PIC 4.0 zur Demonstrationsplattform für innovative Optimierungsservices vom Forschungskonzept bis in die industrielle Anwendung. ■