

# Jenseits menschlicher Fähigkeiten

## Modellgestützte Prozesseinrichtung durch vollvernetzte Produktion im Spritzgießen

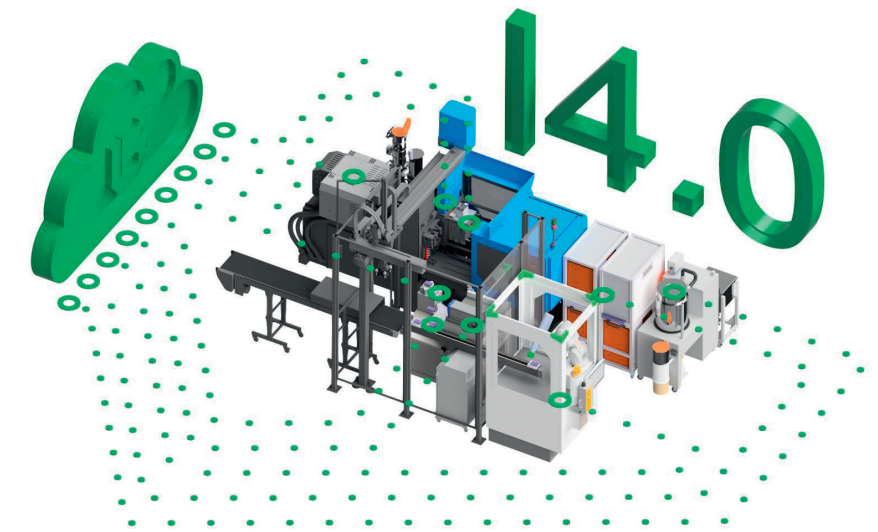
Die Qualität von Spritzgussteilen und die Prozessstabilität sind bis heute stark von den Kenntnissen und Erfahrungen des Einrichters abhängig. Durch die immer weiter wachsende Zahl an Freiheitsgraden entstehen jedoch komplexe Wirkzusammenhänge zwischen Bauteilqualität und Prozessparametern. Das IKV zeigt mit einem Industriekonsortium auf der K 2019, wie Algorithmen auf Basis künstlicher Intelligenz zur Verarbeitung von Maschinen- und Qualitätsdaten den Maschinenbediener bei der Einrichtung unterstützen können.

**B**ei der Einrichtung von Spritzgießprozessen steht die Bauteilqualität für ein Spritzgießunternehmen als Zielgröße an vorderster Stelle. Zusätzlich darf der Einrichter Kriterien wie die Konstanz, die Stabilität und die Fähigkeit des Prozesses, die Produktionsgeschwindigkeit und die Energieeffizienz für eine störungsfreie und wirtschaftliche Produktion im Einrichtungprozess nicht vernachlässigen. Die Qualitätsmerkmale lassen sich in quantitativ erfassbare Größen wie Bauteilmaße, -gewicht und -verzug sowie subjektive Größen wie das Aussehen des Bauteils einteilen.

Direkte Einflussfaktoren sind Prozessgrößen wie die Massetemperatur, aber auch Störgrößen wie Umgebungseinflüsse, Chargenschwankungen des Rohstoffs oder eine inhomogene Werkzeugtemperierung. Für den Einrichter kommt erschwerend hinzu, dass er an der Maschine selbst nur Einstellwerte der Maschine (z. B. die Einspritzgeschwindigkeit) und der Peripheriegeräte ändern kann. Erst in Verbindung mit der Maschinenkonfiguration – dazu zählen etwa Schnecken-durchmesser und Werkzeugausführung – werden aus den Einstellwerten maschinenabhängige Prozessgrößen.

### Die Einrichtzeit korreliert mit der Erfahrung des Einrichters

Die Aufgabe des Einrichters besteht nun darin, aus möglichst wenigen Versuchen die Wirkzusammenhänge zwischen Einflussfaktoren und Zielgrößen zu ermitteln. Dabei steigt die Komplexität mit der Anzahl der zu erfüllenden Zielgrößen, aber auch durch den Funktionsumfang von Maschinen und Peripherie. Darüber



Vollvernetzte Fertigungszelle mit Datenrückführung in die Spritzgießmaschine © IKV

hinaus können Qualitätsdaten auch konträr auf eine große Anzahl einstellbarer Parameter der Spritzgießmaschine sowie der Peripheriegeräte reagieren. Aufgrund dieser Komplexität ist es alles andere als trivial, den idealen Prozess einzustellen.

Der klassische Einrichtungprozess bis zum Start der Produktion beinhaltet mehrere Schleifen (**Bild 1**). Zu Beginn nimmt der Einrichter eine erste Prozesseinstellung mit subjektiv erfüllten Qualitätsmerkmalen vor. Diese Bauteile werden anschließend in die Qualitätssicherung übergeben. Meist sind beide Instanzen räumlich voneinander getrennt, sodass eine Aussage über Gut- oder Schlechteile in der Produktion erst nach einer gewissen Wartezeit vorliegt. Aus dem Soll-Ist-Vergleich der Qualitätsdaten kann ein erfahrener Maschineneinrichter Zusammenhänge zur Güte der gewählten Maschineneinstellwerte ableiten.

Zeigt die Qualitätskontrolle, dass nicht alle Qualitätsanforderungen erfüllt sind, nimmt der Einrichter erneut Änderungen an den Prozesseinstellungen vor. Um diesen Prozess zu verkürzen, werden meist mehrere Versuchspunkte in der Qualitätssicherung untersucht – auf diese Weise kann ein größerer Prozessraum betrachtet werden. Diesen Versuchsraum fährt der Einrichter manuell ab. Je nach Anzahl der Iterationen verzögert sich der Start der Produktion.

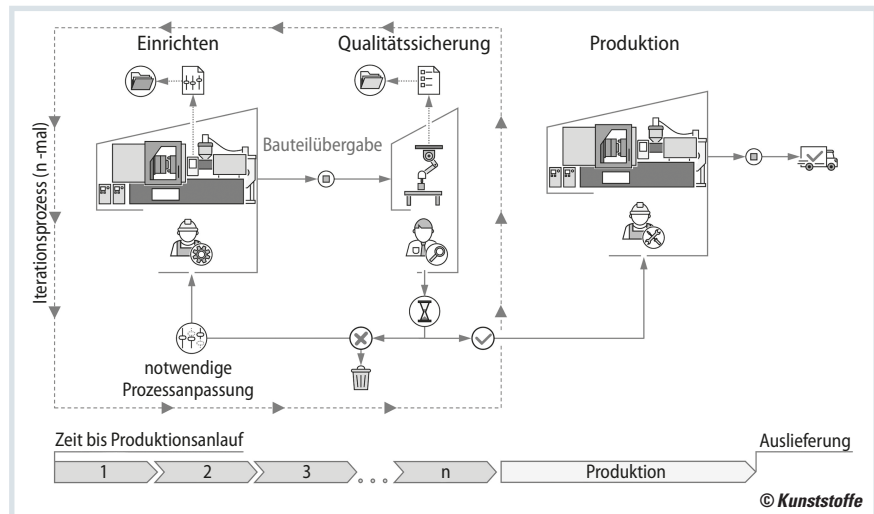
### Die Datenbasis einer automatischen Prozesseinrichtung

Es ist ersichtlich, dass die Anzahl an Iterationen und die damit verbundene Einrichtzeit direkt mit den Kenntnissen und Erfahrungen des Einrichters korreliert [1]. Nach erfolgreicher Einrichtung überwacht ein Produktionsmitarbeiter den laufen-

den Betrieb, während die Qualitäts- und Prozessdaten meist in getrennten Dokumenten abgelegt werden.

Das Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) an der RWTH Aachen wird mit Unterstützung eines Industriekonsortiums (Tabelle 1) auf der K 2019 Lösungen für die weiter zunehmende Komplexität bei der Prozesseinrichtung präsentieren. Kern des Projekts: Ein automatisierter Ablauf soll die Zeit bis zum Produktionsstart im Vergleich zum klassischen Einrichtprozess verkürzen. Den Messebesuchern werden Möglichkeiten eines automatisierten Ablaufs der Prozesseinrichtung anhand eines Raspberry Pi Gehäuses (Einplattencomputer) demonstriert. Dazu werden die Vorteile einer vollnetzten Spritzgießproduktion (Bild 2) genutzt, wie sie im Produktionszeitalter der Industrie 4.0 gefordert ist. Diese ermöglicht die direkte Auswertung von Maschinen- und Qualitätsdaten in einem cyber-physikalischen Produktionssystem. Zusätzlich zu den Daten der Spritzgießmaschine werden auch die Daten der zur Fertigungszelle gehörenden Produktionsanlagen, wie Temperiergeräte oder Trockner, in die Prozessbewertung integriert.

Die dauerhafte Ablage der relevanten Daten jeder Instanz wird mit einem etablierten Datenbanksystem umgesetzt. Dies unterscheidet die Fertigungsanlage von den heute üblichen Standards, bei denen die Ablage der digitalen Daten meist in verschiedenen zentralen oder dezentralen Datenbanken (z. B. BDE, MES oder QM)



**Bild 1.** Der klassische Einrichtprozess verlängert die Zeit bis zur Produktion durch Prozessinteraktion (Quelle: IKV)

stattfindet. So wird es möglich, den sogenannten digitalen Schatten eines Bauteils und Prozesses zu generieren. Dieser stellt in der Regel keinen festen Datensatz dar, sondern bezeichnet eine Methode zur kontextgerechten Bereitstellung spezifischer Daten und Modelle. So können bei der Spritzgießfertigung neben den Prozessparametern z. B. auch Daten der Materialherstellung, etwa Viskositätsschwankungen, mit in den Datensatz einfließen, um die Prozessstabilität zu verbessern.

### Spezielle Algorithmen errechnen nutzbare Informationen

Der digitale Schatten enthält jedoch in der Regel eine so große Datenmenge,

dass die Wirkzusammenhänge die kognitiven Fähigkeiten eines Menschen überschreiten. Daher wird das IKV zusammen mit dem Konsortium Algorithmen zur Verarbeitung der Daten zu nutzbaren Informationen entwickeln, die die Wirkzusammenhänge bei der Prozesseinrichtung beschreiben. Notwendige Prozessanpassungen werden anschließend in die physische Welt, z. B. an den Maschinenbediener, weitergegeben.

Um dieses Ziel zu erreichen, verwenden und implementieren die IKV-Forscher standardisierte Austausch- und Speicherformate für relevante Daten. Dies macht es möglich, eine Vielzahl unterschiedlicher Komponenten in einem einheitlichen Format miteinander zu verknüpfen und durch die Aufnahme und Verarbeitung der Daten der gesamten Fertigungszelle die komplexen Zusammenhänge im Anfahrprozess abzuleiten. Sowohl die aufgenommenen Daten als auch die abgeleiteten Wirkzusammenhänge werden live visualisiert. Damit können die Messebesucher den aktuellen Status des Einrichtprozesses sowohl virtuell als auch direkt am Bauteil nachvollziehen und die Verschiebung der Bauteilqualität durch Änderung der Maschineneinstellparameter erleben.

### Aufbau und Nutzung des digitalen Schattens durch ein Leitrechnungssystem

Zur ganzheitlichen Erfassung qualitätsrelevanter Eingangs- sowie Ausgangsgrößen setzt das IKV in diesem Projekt auf eine vollvernetzte Produktionsanlage (Bild 3). Um den aktuellen Prozessstatus zu er- ➤

Unternehmen	Rolle im Projekt
Aixtrusion GmbH, Arnsberg	Qualitätskontrolle
Covestro AG, Leverkusen	Materiallieferant
Datalogic S.R.L., Langen	Laserbeschriftung
gwk Gesellschaft Wärme Kältetechnik mbH, Meinerzhagen	Temperiertechnik
Hasco Hasenclever GmbH + Co KG, Lüdenscheid	Normalienhersteller
IKV, Institut für Kunststoffverarbeitung, Aachen	Prozesstechnik, Digitalisierung und Projektleitung
Kistler Instrumente AG, Winterthur/Schweiz	Werkzeugsensorik
Kroma International GmbH, Lahr	Werkzeugbauer
Otto Männer GmbH, Bahlingen a.K.	Heißkanallieferant
Mettler-Toledo GmbH, Gießen	Gravimetrische Prozesskontrolle
motan-colortronic GmbH, Friedrichsdorf	Trocknungstechnik
SensoPart Industriesensorik GmbH, Wieden	Visuelle Prozesskontrolle
Sumitomo (SHI) Demag Plastics Machinery GmbH, Schwaig	Spritzgießmaschinenhersteller
Weber Konstruktion & Prototypen, Bretten	Konturnah temperierte Werkzeugeinsätze

**Tabelle 1.** Die Rollenverteilung der Konsortialpartner im Messeprojekt des IKV (Quelle: IKV)

mitteln, wird der Prozesszyklus über den Takt der Spritzgießmaschine definiert und der Prozesszustand über das Leitrechtersystem, kurz Leitrechner, eingestellt sowie abgefragt. Abhängig vom aktuellen Prozessstatus können dabei die relevanten Einstellwerte oder Messgrößen von jeder Einzelkomponente erfasst und für den spezifischen Zyklus zentral abgelegt werden. Die Verknüpfung der Anlagentechnik mit dem Leitrechner erfolgt dabei unter anderem durch die Verwendung OPC-UA-basierter Schnittstellen.

Abhängig vom Zyklus der Spritzgießmaschine wird über die Automatisierungslösung jeder Schritt der Bauteilkennzeichnung sowie der Qualitätssicherung

## Die Autoren

**Dipl.-Ing. Mauritus Schmitz** ist seit 2019 wissenschaftlicher Direktor für Digitalisierung am Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) der RWTH Aachen.

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

**Malte Röbig, M.Sc. RWTH** ist seit 2018 Leiter der Abteilung Spritzgießen am IKV.

**Lukas Pelzer, M.Sc. RWTH** ist seit 2018 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IKV und leitet dort die Arbeitsgruppe „Additive Fertigung“.

**Bastian Topmüller** studiert an der RWTH Aachen Maschinenbau mit Fachrichtung Kunststofftechnik.

**Simon Wurzbacher, M.Sc. RWTH** ist seit 2016 wissenschaftlicher Mitarbeiter am IKV und leitet dort die Arbeitsgruppe „Spritzgießen/In-Mold-Technologien“.

## Dank

Für die große Unterstützung bei der Umsetzung des Messeprojekts gilt der Dank der Autoren allen Konsortialpartnern (siehe Tabelle).

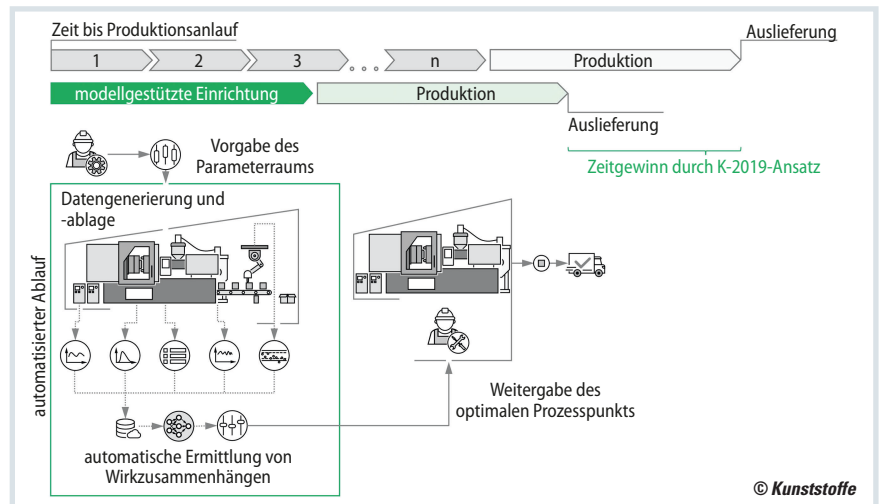
## Service

### Digitalversion

➤ Ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/2019-09](http://www.kunststoffe.de/2019-09)

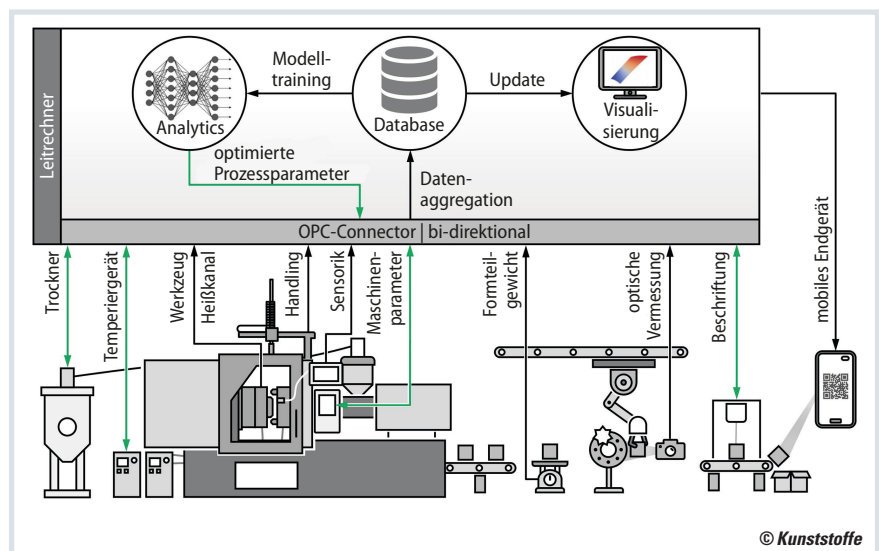
### English Version

➤ 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.** Die vollnetzten Fertigungszelle wird genutzt, um den idealen Prozesspunkt zu finden

(Quelle: IKV)



**Bild 3.** Prozess-, Peripherie-, Qualitäts- und externe Daten werden zum Aufbau eines Modells des Spritzgießprozesses gesammelt und genutzt (Quelle: IKV)

getaktet und der Zeitpunkt der Datenerhebung definiert. Die Aufgabe, die Peripheriegeräte zu überwachen, liegt beim zentralen Leitrechner, der die Position des aktuellen Bauteils verfolgt. Bei Erreichen einer Prozesskomponente wird der Leitrechner informiert, die generierten notwendigen Daten werden erfasst und abgelegt. Somit entsteht über den Prozessablauf ein ganzheitlicher Datensatz für den spezifischen Prozesspunkt mit einer hohen Aussagekraft über die Prozessqualität.

Für die Automatisierung des Einrichtungsprozesses setzt die Lösung des IKV die Datensätze verschiedener Prozesspunkte zu einem Prozessmodell zusammen und veranlasst über den Leitrechner das Training eines künstlichen neuronalen Netzes. Durch das Training „erlernt“ das neuronale Netz die analytisch nicht bekannt-

ten Zusammenhänge zwischen Prozessparametern und Qualitätsdaten, sodass der unbekannte optimale Prozesspunkt bestimmt werden kann. Für den notwendigen Versuchsaufwand kann der Maschinenbediener entweder Einstellparameter vorgeben oder für ausgewählte Prozessparameter einen Versuchsplan generieren lassen.

## Das neuronale Netz wird vortrainiert

Der Leitrechner übergibt anschließend die Versuchspunkte direkt an die Spritzgießmaschine oder die Peripheriegeräte. Um eine hohe Modellqualität zu gewährleisten, ist eine hinreichend große Anzahl an Trainingsdaten notwendig – dadurch kann ein hoher Versuchsaufwand entstehen.

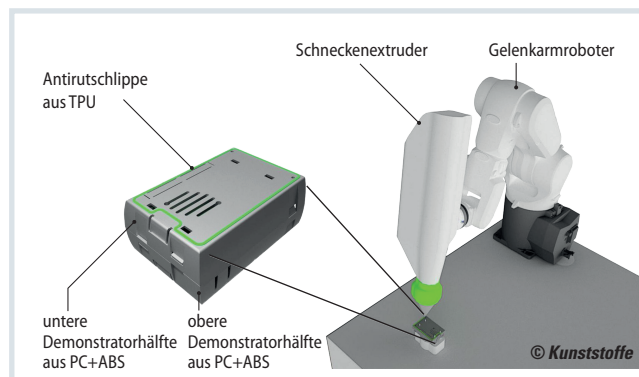
Mithilfe von Prozesssimulationen lässt sich dieser Versuchsaufwand jedoch erheblich verringern, weil das neuronale Netz vortrainiert wird – durch die Simulation kann bereits ein grundsätzliches Prozessverhalten im neuronalen Netz implementiert werden [2]. Deshalb sind für eine gesteigerte Modellqualität im Folgenden weniger Trainingspunkte durch den realen Prozess notwendig. Die berechneten Prozesseinstellungen können mithilfe des Leitrechnersystems entweder dem Maschinenbediener zur Verfügung gestellt oder über bi-direktionale OPC-UA-Schnittstellen direkt an die Spritzgießmaschine oder Peripheriegeräte übergeben werden.

Um die Bauteile nachverfolgen zu können, werden sie mit einem von mobilen Endgeräten lesbaren Code versehen. Damit können die Messebesucher jedem Bauteil seinen digitalen Schatten zuordnen. Dieser umfasst alle relevanten Informationen der verknüpften Systeme und die gemessenen Qualitätsdaten, mit denen das neuronale Netz trainiert wird. Die vom Leitrechner vorgeschlagenen Prozesskorrekturen können die Messebesucher live mit verfolgen.

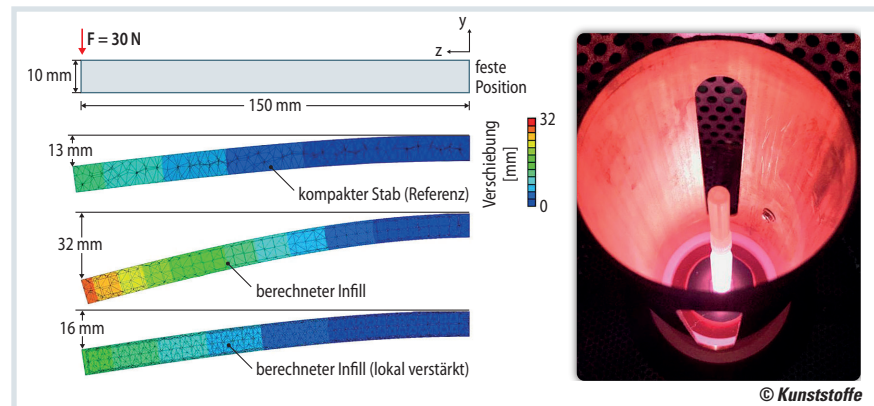
### Inline-Funktionalisierung von Spritzgussteilen durch additive Fertigung

Zur Funktionalisierung der Spritzgussteile wird die Fertigungszelle auf der K 2019 um eine additive Fertigungseinheit erweitert. Dabei steht nicht die kundenspezifische Massenproduktion individualisierter Bauteile im Vordergrund, sondern die Möglichkeiten einer Funktionalisierung und Individualisierung bestehender Bauteile auch mit artfremden Materialien im Takt der Spritzgießmaschine. Dazu wird die additive Einheit auf der Unterseite des zweiteiligen spritzgegossenen Demonstrators aus PC+ABS eine Antirutschlippe aus TPU aufbringen (Bild 4).

Bei der Funktionalisierung mit nur geringen Materialmengen kann die additive Fertigung eine wirtschaftliche Lösung darstellen. Der Einfluss, den die Prozessparameter bei der Verknüpfung beider Fertigungsverfahren (z.B. Entformungstemperatur beim Spritzgießen und Verarbeitungstemperatur in der additiven Fertigung) auf die Haftungseigenschaften zwischen Bauteil und additiv aufgetragener Komponente ausüben, muss dazu vorab quantifiziert werden.



**Bild 4.** Das Spritzgussteil wird im Takt der Spritzgießmaschine durch additiven Auftrag einer TPU-Antirutschlippe funktionalisiert (© IKV)



**Bild 5.** Weitere Projekte des IKV auf der K 2019 sind die lastgerechte Auslegung und Optimierung additiv gefertigter Bauteile mit komplexen 3D-Infill-Strukturen sowie die plasmagesättigte Innenbeschichtung von vorgefüllten Kunststoffspritzen zur Reibungsminderung (© IKV)

Für die Inline-Funktionalisierung wird ein am IKV entwickeltes und mit der Yizumi Germany GmbH, Aachen, kommerzialisierendes Verfahren zur Verarbeitung von Standardgranulat in der plastifizierenden additiven Fertigung genutzt. Dieses Verfahren hat das IKV bereits 2016 vorgestellt. Hierbei kommt ein an einem Gelenkarmroboter angebrachter Schneckenextruder zum Einsatz. Diese Kombination ermöglicht die Fertigung großer Bauteile mit hoher Oberflächenqualität in kurzer Zeit.

### Fazit

Die Verarbeitung der im digitalen Schatten enthaltenen Daten bietet die Chance,

die Qualitätsvorgaben in Anfahrprozessen schneller und gezielter zu erreichen. Dazu müssen die Daten der einzelnen Komponenten einer Fertigungszelle informationstechnisch erfasst und vor allem weiterverarbeitet werden.

Die künstliche Intelligenz (KI) ermöglicht es hierbei, die komplexen Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Fertigungsparametern zu ermitteln. Darüber hinaus kann die additive Fertigung das Potenzial in der Spritzgießfertigung steigern, Bauteile zu individualisieren. Durch sinnvolle Verknüpfung der beiden Technologien können die jeweiligen Stärken der Verfahren ausgeschöpft werden. ■

## Messeprojekte des IKV

Neben dem hier ausführlich beschriebenen Thema wird das IKV auf der K 2019 zwei weitere Projekte vorstellen (Bild 5). Das erste Projekt beschäftigt sich mit der lastpfadgerechten Auslegung von Infill-Strukturen für die additive Fertigung. Dabei wird die für die Druckdauer und die mechanischen Eigenschaften des Bauteils ausschlaggebende Infill-Struktur durch lokale Verdichtung lastpfadgerecht ausgelegt. Das zweite Projekt bildet eine modulare, skalierbare Plasmabeschichtungsanlage zur Innenbeschichtung kleiner Hohlkörper ab. Diese ermöglicht die Funktionalisierung besonders kleiner Innendurchmesser, z.B. um die Sperrwirkung gegen Gase zu erhöhen oder die Reibung zu reduzieren.

➤ Halle 14, Stand C 16