

# Atmungssignale für die Prozessoptimierung nutzen

## Methoden zur Ermittlung der Werkzeugatmung im Vergleich

Die Werkzeugatmung liefert nützliche Informationen über die Vorgänge im Werkzeug und in der Kavität. Formenbauer Schneider Form und Spritzgießmaschinenhersteller Engel haben das Potenzial dieser Prozessgröße erkannt und beschäftigen sich seit einigen Jahren intensiv mit diesem Thema – mit unterschiedlichen Zugängen. Gemeinsam wurden nun Versuche an Stoßfänger-Werkzeugen auf einer Zweiplatten-Spritzgießmaschine mit 40 000 kN Schließkraft durchgeführt und Erfahrungen ausgetauscht.

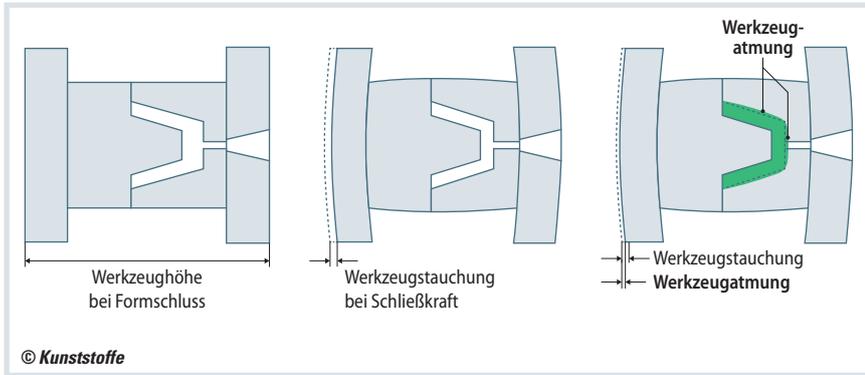


Stoßfänger-Werkzeuge standen im Mittelpunkt der Untersuchungen zur Prozessoptimierung auf Basis der Werkzeugatmung. Das Bild zeigt stellvertretend ein Beispiel aus dem Stoßfängerportfolio von Schneider Form (© Julia Lav/Shutterstock.com)

Die Betriebe der Kunststoffverarbeitung sammeln und analysieren immer mehr Maschinen- und Prozessdaten und optimieren auf dieser Basis ihre Prozesse. Die stetig steigenden Rechenleistungen und die zunehmende Vernetzung der Anlagen erwecken leicht den

Eindruck, dass die Lösung jeglicher Spritzgießprobleme nur eine Frage der richtigen Verknüpfung und Auswertung von ohnehin bereits vorliegenden Daten ist. Dabei ist die Verfügbarkeit von Prozessgrößen mit starker Aussagekraft für den Formgebungsprozess und die Formteil-

qualität nicht selbstverständlich. Um relevante Größen zu erhalten, bedarf es entweder intelligenter Software, die die in der Maschine vorliegenden Signale verarbeitet, oder zusätzlicher Sensorik. Ein Beispiel für eine Prozessgröße mit hoher Aussagekraft ist die Werkzeugatmung [1].



**Bild 1.** Werkzeugatmung kurz erklärt (überzeichnet dargestellt): Beim kraftfreien Schließen des Werkzeugs entstehen zunächst keine relevanten Stauchungen. Beim Aufbau der Schließkraft verringern sich die Werkzeughöhe sowie das Volumen der Kavität (Mitte). Ein Teil dieser Stauchung wird beim Einspritzen durch den Auftreibdruck der Schmelze zurückgestellt (rechts). Die daraus resultierende Änderung des Kavitätsvolumens und der Werkzeughöhe wird als Werkzeugatmung bezeichnet (© Schneider Form)

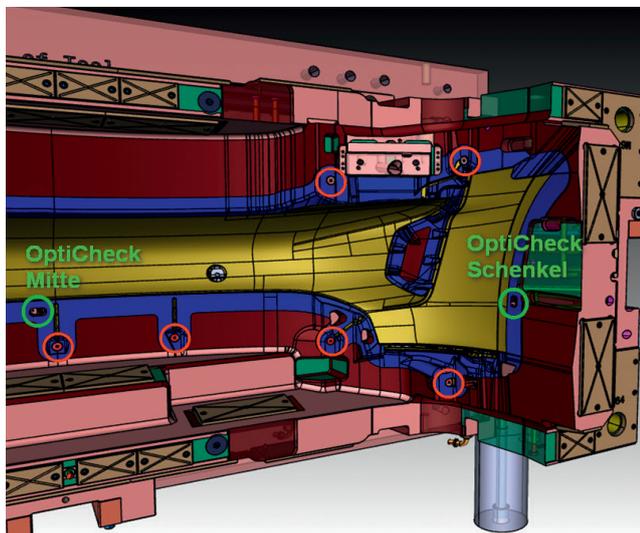
Die Formteilqualität wird durch das Zusammenwirken der physikalischen Größen Druck, Temperatur und Volumen in der Kavität bestimmt. Das Volumen ist über den Zyklus nicht konstant. Es verringert sich zunächst bei Aufbringung der Schließkraft und erhöht sich anschließend unter Einwirkung des Auftreibdrucks der Schmelze (**Bild 1**). Die Rückstellung der Werkzeugstauchung durch den Auftreibdruck, die im Größenbereich von wenigen tausendstel bis zu mehreren hundertstel Millimetern liegt, wird als Werkzeugatmung bezeichnet.

### Für große Bauteile wie Stoßfänger im Einsatz

Die Summe der im Werkzeug auftretenden lokalen Atmungsanteile bewirkt eine

Kraftänderung an den Werkzeugaufspannplatten. Diese Kraftänderung kann durch maschinenintegrierte Sensoren erfasst werden. Auf der Fakuma 2015 hat die Engel Austria GmbH, Schwertberg/Österreich, mit „iQ clamp control“ erstmalig ein Assistenzsystem präsentiert, das auf Basis des Schließkraftsignals der Schließeinheit die Werkzeugatmung über die gesamte projizierte Fläche berechnet und eine vollautomatische Optimierung der Schließkraft durchführen kann [2].

Die Schneider Form GmbH, Dettingen unter Teck, ist als Formenbauer spezialisiert auf große Außenhautteile fürs Automobil – vor allem Stoßfänger (**Titelbild**) – und hat auf der Moulding Expo 2017 das von ihr entwickelte System „Opti-Check“ präsentiert. Dieses misst die Werkzeugatmung mithilfe von Messtas- »



**Bild 2.** Für die Opti-Check-Messungen – hier an Werkzeug 2 – wurden an verschiedenen Stellen in der Kavität Sensoren platziert (grüne Kreise). Die roten Kreise kennzeichnen die Anspritzpunkte

(© Schneider Form)

## Intelligente Assistenz

Die intelligente Assistenz ist ein wesentliches Merkmal der Smart Factory, die das Ziel von Industrie 4.0 beschreibt. Schon früh hat Engel auf den Trend zur Digitalisierung und Vernetzung der Produktionsprozesse gesetzt und bietet heute eine Reihe ausgereifter und bereits vielfach bewährter Produkte hierfür an. Dabei macht es die Modularität des „inject 4.0“-Ansatzes von Engel den Kunststoffverarbeitern besonders einfach, die neuen Möglichkeiten zu nutzen. Schon einzelne Lösungen wie iQ clamp control stiften einen hohen Nutzen.

» [www.engelglobal.com/inject-4-0](http://www.engelglobal.com/inject-4-0)

## Die Autoren

**Dr. Georg Pillwein** leitet die Abteilung Entwicklung Prozesstechnologie bei der Engel Austria GmbH, Schwertberg/Österreich; [georg.pillwein@engel.at](mailto:georg.pillwein@engel.at)

**Dr. Johannes Lettner** ist Projektleiter in der Abteilung Entwicklung Prozesstechnologie bei Engel; [johannes.lettner@engel.at](mailto:johannes.lettner@engel.at)

**Markus Lehr** ist Projektmanager Entwicklung und Formenbau bei der Schneider Form GmbH, Dettingen/Teck; [m.lehr@schneider-form.de](mailto:m.lehr@schneider-form.de)

## Service

### Literatur & Digitalversion

» Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/2020-01](http://www.kunststoffe.de/2020-01)

### 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 3.** Die Versuche wurden im Technikum von Schneider Form auf einer Spritzgießmaschine Engel duo 23050/4000 durchgeführt (© Schneider Form)

tern direkt an der Trennebene [3] und bestimmt somit die lokale Werkzeugatmung (**Bild 2**). Um alle wesentlichen Effekte zu erfassen, werden mehrere Sensoren an kritischen Punkten im Werkzeug platziert. Die geeigneten Positionen werden durch FEM-Analysen und Füllsimulationen ermittelt.

Vor allem bei großen Werkzeugen sind signifikante lokale Unterschiede in der Atmung zu erwarten. Stoßfänger werden kaskadiert über mehrere Anspritzpunkte gefüllt, was entlang des langen Fließwegs zu großen Unterschieden im Werkzeuginnendruck und damit in der resultierenden lokalen Auftreibkraft führen kann. An den großflächigen, fast parallel zur Maschinenlängsachse orientierten Schenkelflächen des Stoßfängers verhält sich die Atmung oft anders als an den senkrecht zur Maschinenlängsachse orientierten Bereichen.

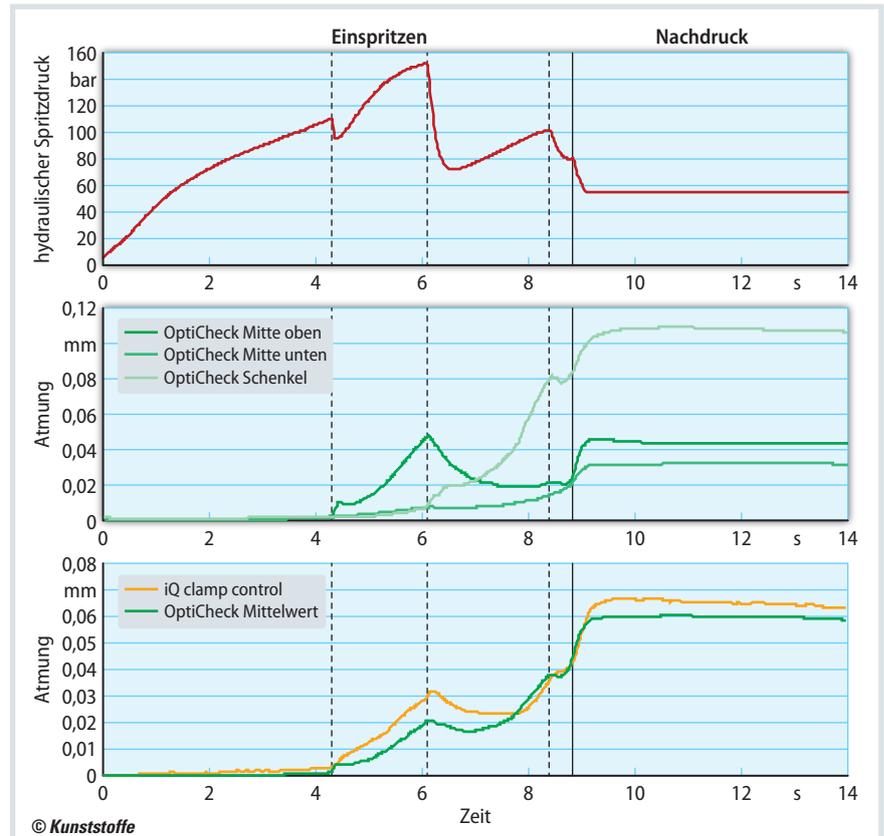
Dies macht zum einen die Betrachtung der lokal gemessenen Informationen besonders interessant und stellt zum anderen das integral ermittelte Atmungssignal der Maschine auf die Probe. Schneider Form und Engel haben gemeinsam Versuche mit zwei Stoßfänger-Werkzeugen auf einer Zweiplattenmaschine des Typs Engel duo mit 40000 kN Schließkraft (**Bild 3**) im Technikum von Schneider Form durchgeführt und die Ergebnisse ihrer beiden Systeme miteinander verglichen. In Werkzeug 1 wurde ABS mit einem Schussgewicht von 4440 g und in Werkzeug 2 (**Bild 2**) PP mit einem Schussgewicht von 2950 g verarbeitet.

### Signale auf dem Prüfstand

Wie verhalten sich nun die Signale im Vergleich? Die Gegenüberstellung zeigt den hydraulischen Spritzdruck sowie die von OptiCheck an drei Positionen (Mitte oben, Mitte unten, Schenkel)

ermittelten Atmungssignale und die von iQ clamp control berechnete Atmung für einen Einspritzvorgang an Werkzeug 1 (**Bild 4**). Am Spritzdruckverlauf sind anhand der Druckeinbrüche die Zeitpunkte erkennbar, zu denen die Verschlussnadeln öffnen. Diese sind in der Grafik durch senkrechte gestrichelte Linien hervorgehoben.

Es ist offensichtlich, dass die Messtaster des OptiCheck-Systems – jeweils abhängig von ihrer Position im Werkzeug – unterschiedliche Signalverläufe liefern. Während der Messtaster „Mitte oben“ deutlich auf das Öffnen der einzelnen Verschlussnadeln reagiert, wird der von den Düsen weiter entfernte Taster „Mitte unten“ kaum beeinflusst. Das Beispiel verdeutlicht, wie wichtig es ist, die Sensoren richtig zu platzieren. Hätte man z.B. auf den Taster „Mitte oben“ verzichtet, wäre die Druckspitze beim Öffnen der Nadeln nicht sichtbar. Der Sensor am Schenkel des Stoßfängers reagiert vor allem auf die zweite und dritte Nadelöffnung. Auch in der Nachdruckphase sind die Atmungswerte lokal sehr unterschiedlich.



**Bild 4.** Vergleich der Werkzeugatmungssignale von OptiCheck und iQ clamp control bei einem Einspritzvorgang in Werkzeug 1 (ABS). Der hydraulische Spritzdruck dient der Orientierung. Das Öffnen von Verschlussnadeln ist durch gestrichelte Linien gekennzeichnet, der Umschaltzeitpunkt durch eine durchgezogene Linie (Quelle: Engel)

Das von iQ clamp control ermittelte Atmungssignal basiert bei der Baureihe duo auf den Drucksignalen aus den Druckkissen der vier Holme. Der Anwender erhält die über die gesamte projizierte Fläche resultierende mittlere Atmung. Dieses Signal zeigt bei allen drei Nadelöffnungen eine Reaktion. Da es sich um ein integrales Signal handelt, ist eine Trennung der lokalen Effekte nur über eine zeitliche Zuordnung zu bestimmten Ereignissen, wie der Nadelöffnung, möglich. Die Unterschiede zwischen den am Schenkel und in der Mitte auftretenden Atmungswerten können mit einem einzelnen Signal nicht erfasst werden. Der Verlauf der von iQ clamp control berechneten Atmung stimmt sowohl qualitativ als auch quantitativ sehr gut mit dem Mittelwert der drei OptiCheck-Signale überein.

Um zu einem optimalen Prozess zu gelangen, müssen die Einspritzparameter, die Kraftverteilung im Werkzeug sowie die eingestellte Schließkraft miteinander

im Einklang sein. Lässt man nur einen dieser Faktoren außer Acht, wird man – bewusst oder unbewusst – bei der Formteilqualität, der Standzeit von Maschinen- und Werkzeugkomponenten oder der Energieeffizienz Abstriche machen müssen. Aufgrund der Wechselwirkungen bedarf es einer iterativen Vorgehensweise, um alle Faktoren ausreichend zu berücksichtigen. Werkzeugatmungssignale, egal ob aus dem Werkzeug oder aus der Maschine stammend, können hierbei in allen Schritten der Prozess- und Werkzeugoptimierung hilfreich sein.

### **Mehrkosten von mehreren Zehntausend Euro pro Jahr vermeiden**

Die Füllung von Stoßfänger-Werkzeugen erfolgt kaskadengesteuert über mehrere Anspritzpunkte. Dabei liefert die Werkzeugatmung wertvolle Informationen über lokale Verformungen und die in der Kavität herrschenden Druckverhältnisse. Das hier

dargestellte Beispiel veranschaulicht den hydraulischen Spritzdruck, die Atmungsverläufe „OptiCheck Mitte“ und „OptiCheck Schenkel“ sowie den Verlauf der von iQ clamp control ermittelten Gesamtatmung für zwei verschiedene Verschlussdüsen-einstellungen an Werkzeug 2 (Bild 5).

Die orange Kurve zeigt eine ungünstig gewählte Verschlussdüsen-einstellung. Hier werden die Verschlussdüsen kaskadiert geöffnet und bleiben bis zum Ende der Nachdruckphase offen. Vor dem Umschaltzeitpunkt kommt es zu einem deutlichen Anstieg der Atmung, weil der für die Füllung benötigte Spritzdruck über die Düsen in der Formteilmittte eine zusätzliche Auftreibkraft bewirkt. Nach dem Umschalten auf Nachdruck kommt es zum Druckausgleich im Formteil, die Werkzeugatmung nimmt formteilmittig ab, dafür aber an den Schenkeln zu.

Der unvollständige Abbau der Werkzeugatmung am Ende der Nachdruckphase lässt auf eine Überladung der »

[www.hanser-tagungen.de/extrusion](http://www.hanser-tagungen.de/extrusion)

# 17. DUISBURGER EXTRUSIONSTAGUNG

**Flexibilität, Qualität, Nachhaltigkeit:  
Herausforderungen und Chancen für Prozesse und Produkte**  
18. – 19. März 2020 in Duisburg

**HANSER**  
Tagungen und Messen

**Frühbucher-Preis nur  
bis 17.02.2020!**

### Prozess- und produktübergreifend informieren und diskutieren über:

- Kreislaufwirtschaft: Technische Anforderungen und Umsetzungs-Knowhow
- Neueste Entwicklungen im Bereich der Digitalisierung
- Innovative Maschinenteknik für höchste Produktqualität
- **»World Café«:** Ideenaustausch zu ausgewählten Fragestellungen im kleinen Kreis
- **Science Session:** Neues aus der universitären Forschung



© Centroplast Engineering Plastics GmbH

Veranstalter

**Kunststoffe**

**>>>> ipe**  
Institut für Produkt Engineering

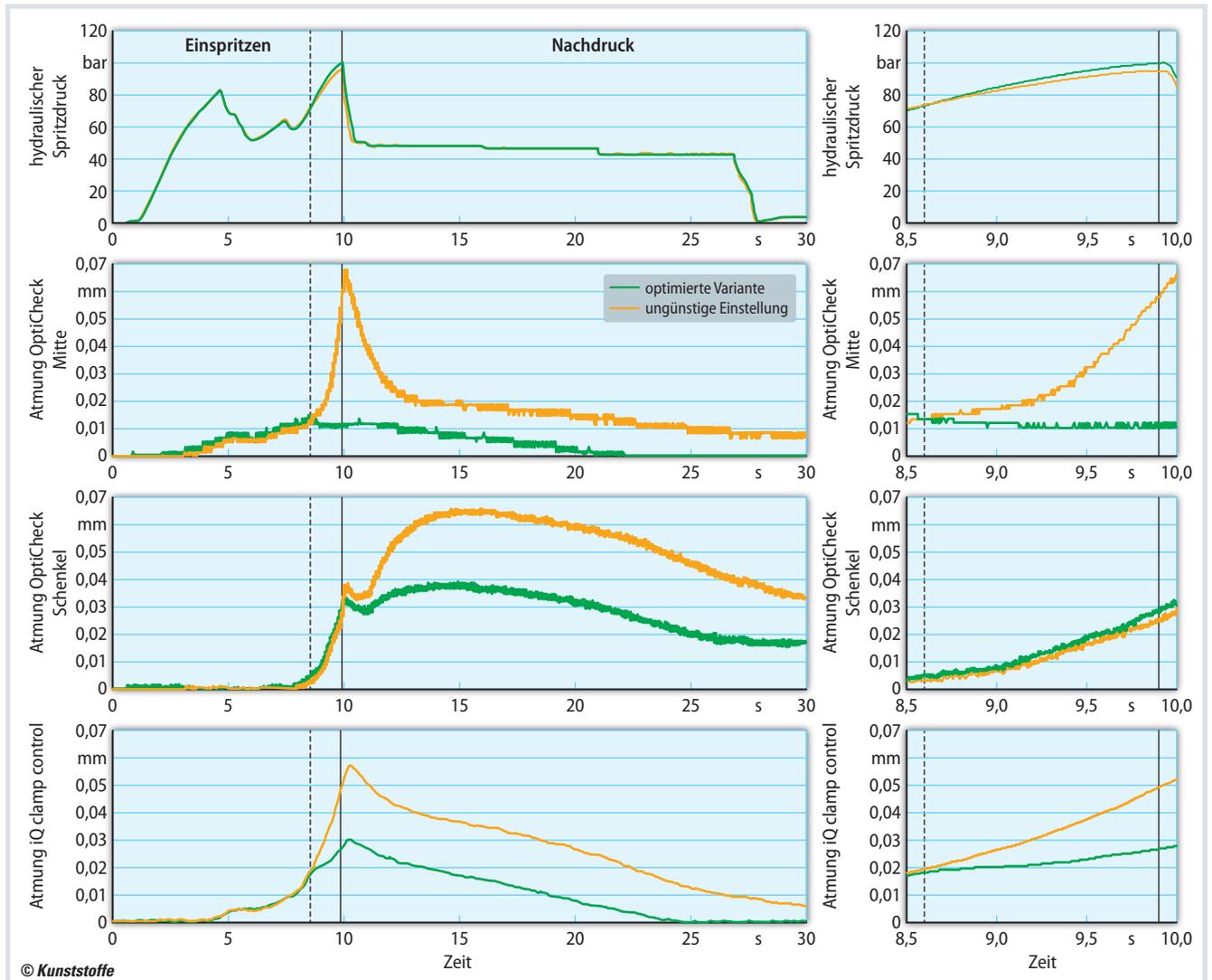
Mit freundlicher  
Unterstützung

**plasticker**  
the home of plastics

kunststoffland NRW e.V.

**TecPart**  
GKV Verband Technische Kunststoff-Produkte e.V.

Interesse geweckt? Informationen und Anmeldung unter [www.hanser-tagungen.de/extrusion](http://www.hanser-tagungen.de/extrusion)



**Bild 5.** Einfluss der VerschlussdüsenEinstellung auf die Verläufe von hydraulischem Spritzdruck und verschiedene Atmungssignale bei Werkzeug 2 (PP). Die orange Kurve zeigt eine ungünstig gewählte Einstellung, die grüne Kurve die auf geringen Auftreibdruck optimierte Variante. Die Ausschnitte rechts zeigen eine Vergrößerung im Zeitbereich vor dem Umschaltzeitpunkt (Quelle: Engel)

Kavität schließen. Die in der Folge um wenige hundertstel Millimeter erhöhte Wanddicke kann bei großflächigen Außenhautteilen Mehrkosten von mehreren Zehntausend Euro pro Jahr bedeuten. Dieser unnötige Rohmaterialeinsatz lässt sich durch die Optimierung der spritzseitigen Einstellungen unter Berücksichtigung der Werkzeugatmung effektiv vermeiden.

### Optimierte Atmungsverläufe verringern die erforderliche Schließkraft

Die grüne Kurve zeigt eine optimierte Produktionseinstellung. Hierbei werden die im Werkzeug mittig angeordneten Düsen nach dem Öffnen der weiter außen gelegenen Düsen geschlossen. Der starke Anstieg der Werkzeugatmung in

der Formteilmitte kann auf diese Art unterbunden werden, und auch in der Nachdruckphase ist die Atmung deutlich geringer.

Bei näherer Betrachtung des Spritzdruckverlaufs fällt auf, dass der Spritzdruck im Bereich vor dem Umschaltzeitpunkt mit der ungünstigen Einstellung sogar gesunken ist. Dies erscheint nur auf den ersten Blick im Widerspruch zu den im Werkzeug beobachteten Druckverhältnissen zu stehen. Da alle Heißkanaldüsen geöffnet bleiben, ist in der Füllphase der Druckverlust im Heißkanal geringer. Dies bewirkt eine bessere Druckübertragung ins Werkzeug, wodurch der Spritzdruck sinkt.

Das Spritzdrucksignal ist in diesem Fall offenbar keine gute Wahl, um die Druckverhältnisse im Werkzeug zu bewerten. Die Werkzeugatmungssignale da-

gegen reagieren sehr sensitiv auf Änderungen des Auftreibdrucks und können somit effektiv zur Optimierung des Einspritzvorgangs im Hinblick auf einen minimalen Auftreibdruck herangezogen werden. Die positiven Effekte sind sowohl in den OptiCheck-Signalen als auch in der durch iQ clamp control berechneten Werkzeugatmung nachvollziehbar. Die optimierten Atmungsverläufe verringern die Werkzeugbelastung und darüber hinaus die erforderliche Schließkraft.

### Effizienter eintuschieren

Im Stoßfänger-Werkzeug werden Druckplatten verwendet, um die Flächenpressung entlang der Trennebene abzustimmen und somit eine plastische Verformung vor allem der Dichtkante zu ver-

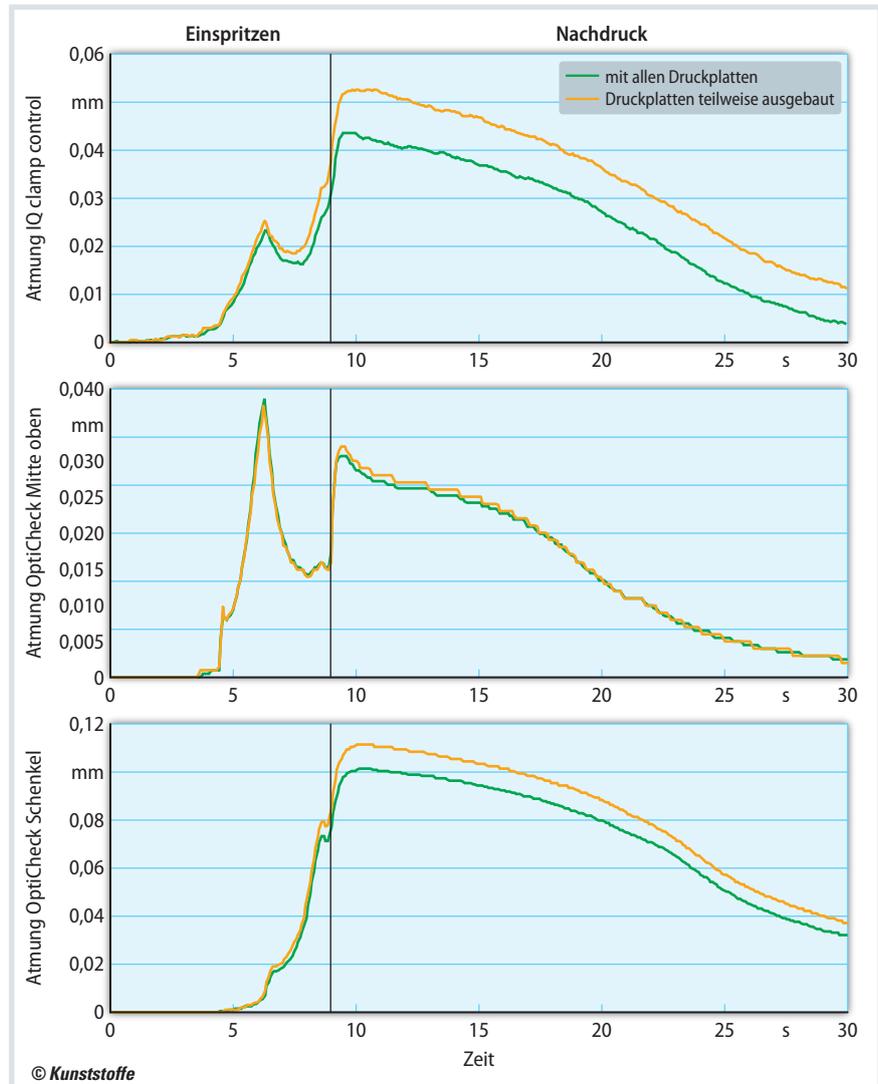
meiden. Schneider Form hat in mehr als 80 Versuchsreihen eine Methode unter Zuhilfenahme der Werkzeugatmung entwickelt, mit der die Zeiten für das artikelrelevante Eintuschieren deutlich verkürzt werden konnten. Die Messungen zeigen die Reaktion der unterschiedlichen Atmungssignale auf einen teilweisen Ausbau von Druckplatten im Bereich der Schenkelflächen des Stoßfängers (Bild 6).

Im Bereich der fehlenden Druckplatten verringert sich die Steifigkeit des Werkzeugs, was lokal und insgesamt zu einer größeren Stauchung bei gleicher Schließkraft führt. Die lokale Atmung nimmt nur in den Bereichen mit reduzierter Steifigkeit, also an den Schenkelflächen, zu, während sie im mittleren Bereich unverändert bleibt. Dies lässt sich an den OptiCheck-Signalen gut nachvollziehen. Das Assistenzsystem iQ clamp control erkennt die reduzierte Steifigkeit des Gesamtaufbaus und detektiert ebenfalls eine erhöhte mittlere Atmung, gibt jedoch keinen Aufschluss über lokale Unterschiede.

### Schließkraftoptimierung leicht gemacht

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit für das Werkzeugatmungssignal ist die Optimierung der Schließkraft. Wird die Schließkraft schrittweise reduziert, steigt der Spitzenwert der Werkzeugatmung aufgrund der Entlastung des Stahls im Bereich der Trennebene exponentiell an. Wird der Schließkraftsollwert über mehrere Zyklen verändert und beobachtet der Maschinenbediener, wie sich die Atmung dabei verändert, kann er anhand von Erfahrungswerten oder anwenderspezifischen Vorgaben die Schließkraft mithilfe von OptiCheck optimieren.

Das Assistenzsystem von Engel geht einen Schritt weiter und stellt eine Funktion zur Verfügung, die ohne zusätzliche Benutzervorgaben nach objektiven Kriterien werkzeugspezifisch die minimal erforderliche Schließkraft unter den aktuellen Prozessbedingungen ermittelt. Nach Aktivierung verändert die Maschine automatisch über mehrere Zyklen den Schließkraftsollwert, wertet die Änderung des Atmungsspitzenwerts aus und ermittelt daraus die optimale Schließkraft. Der Einsatz von iQ clamp control in der Produktion hat gezeigt, dass man die Wartungsintervalle des Werkzeugs durch die An-



**Bild 6.** Vergleich des Verlaufs verschiedener Atmungssignale an Werkzeug 1 (ABS) mit allen Druckplatten (grün) und bei teilweisem Ausbau von Druckplatten (orange) im Bereich der Schenkelflächen (Quelle: Engel)

passung der Schließkraft deutlich verlängern kann.

### Fazit

OptiCheck ermittelt die Werkzeugatmung an definierten Positionen im Werkzeug, während iQ clamp control eine über das Werkzeug gemittelte Aussage liefert. Die Investitionskosten unterscheiden sich naturgemäß, weil das Assistenzsystem iQ clamp control vorhandene Sensoren der Maschine nutzt. Gerade bei großen Werkzeugen mit lokal sehr unterschiedlichen Effekten kann sich die zusätzliche Investition in OptiCheck jedoch rechnen.

Die in diesem Beitrag anhand von Stoßfänger-Werkzeugen beschriebenen Prozessoptimierungen lassen sich bei ver-

schiedensten Werkzeugtypen und -größen anwenden. Im Bereich der Klein- und Mittelmaschinen präsentierte Engel auf der K 2019 iQ clamp control für die vollhydraulische Baureihe victory. Die Software ist jetzt für alle Spritzgießmaschinen dieses Herstellers verfügbar.

Die beschriebenen Beispiele machen deutlich, dass der Informationsgehalt der Werkzeugatmung in allen Phasen der iterativen Optimierung von Spritzgießwerkzeug und -prozess von großem Nutzen sein kann. Die unterschiedlichen Perspektiven von Formenbauer und Maschinenhersteller erhöhen zudem das Verständnis und bringen neue Erkenntnisse. Dabei ist es zunächst von untergeordneter Bedeutung, ob das gewinnbringende Signal aus dem Werkzeug oder aus der Spritzgießmaschine stammt. ■