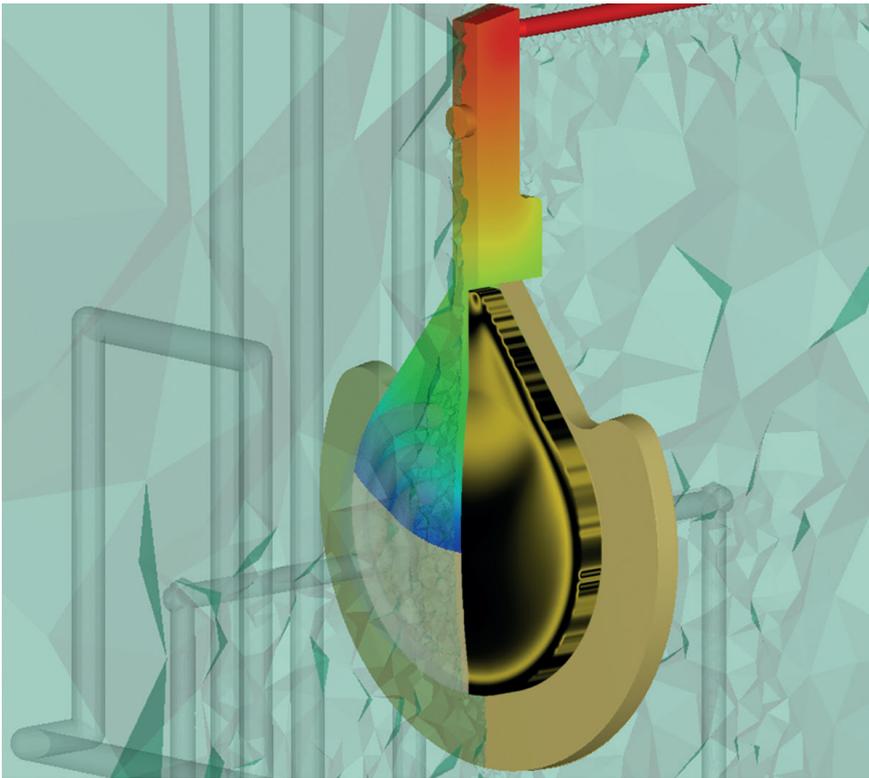


# Mehr ist weniger

## Prozessabwägung vor der Herstellung optischer Bauteile mittels Simulation

Die Herstellung optischer Linsen unter Maßgabe einer bestimmten Produktqualität in einen wirtschaftlichen Rahmen zu betten, ist eine große Herausforderung. Neben der Anpassung der Formteilgeometrie steht oft auch die Frage der richtigen Fertigungsstrategie im Raum. So bildet das Prägen eine qualitative, aber auch kostenintensive Alternative zum Spritzgießen. Hier steht die Simulation als Entscheidungshilfe zur Verfügung.



Simulation für die Herstellung einer zweischichtigen, asphärischen, bikonvexen Linse. Hier wird die Formfüllung mit dem Brechungsmuster der finalen Linse überlagert © SimpaTec

Nicht erst seit dem 17. Jahrhundert, in dem u.a. die Laterna magica (die Zauberalaterne) entwickelt worden ist, spielt die Optik eine wichtige Rolle im Leben der Menschen [1]. Die ersten optischen Produkte, die von Menschen angefertigt wurden, sind deutlich älter. So wurden in früheren Zeiten im Wesentlichen Quarze geschliffen bzw. poliert, um Produkte mit gewünschten Eigenschaften zu erzielen.

In der heutigen Zeit ist der Alltag ohne optische Produkte kaum vorstellbar.

Dazu zählen nicht nur offensichtliche wie Brillen, Kameras und Projektoren. Vielmehr sind es auch Anwendungsbereiche etwa der Messtechnik und der Fahrzeugtechnik, in denen diese Technologie eine tragende Rolle spielt. Das breite Anwendungsspektrum hat zur Folge, dass sich die mechanische Herstellung optischer Produkte stetig neuen Herausforderungen stellen muss und sich somit nicht nur das Fertigungsverfahren, sondern auch der Werkstoff Quarz mit der Frage nach Alternativen konfrontiert sieht.

Bereits im Jahr 1933 brachte die Röhm & Haas AG ein Polymethylmethacrylat (PMMA) mit dem Markennamen Plexiglas auf dem Markt [2]. Gut sieben Jahre später entstand daraus ein Produkt, das erstmals im Jahr 1636 von René Descartes dargestellt wurde [3] – der Vorläufer der Kontaktlinse. Entwickelt wurde diese 1940 von Heinrich Wöhlk [4]. Es folgte eine ganze Reihe von Entwicklungen, doch das Beispiel der Kontaktlinse verdeutlicht, wie lange das Thema Optik die Menschheit bereits begleitet.

### Spritzgießen oder Spritzprägen?

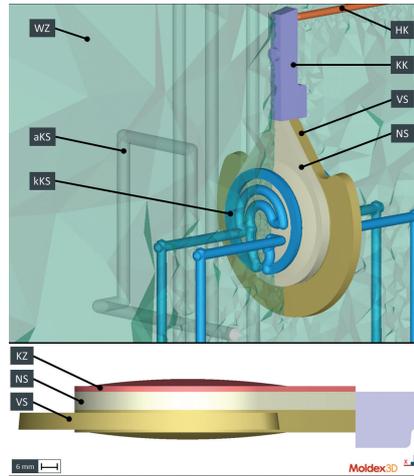
Einen entscheidenden, zukunftssträchtigen Schritt brachte letztlich der Einsatz von Kunststoff bei der Herstellung von Produkten mit optischen Eigenschaften. So ermöglicht das Spritzgießverfahren für die Kombination dieser beiden Komponenten – Kunststoff und Optik – die Produktion großer Stückzahlen mit reproduzierbaren Ergebnissen. Jedoch beinhaltet das Verfahren auch technische Hürden wie ungleichmäßige Schwindung, Spannungen und Einfallstellen.

Da im Vergleich zu technischen Produkten die Anforderungen an Produkte mit optischen Eigenschaften wesentlich höher sind [5], kommt als weiteres Herstellungsverfahren das Spritzprägen in Frage. Durch Kombination des Spritzgießens und des Fließpressens können nicht nur verfahrenstechnische (z.B. Fülldruck), sondern auch bauteilrelevante Eigenschaften optimiert werden [6]. Im Wesentlichen steht hier die Homogenisierung sowohl von Material- als auch von Bauteileigenschaften im Vordergrund.

Einerseits erzielt das Spritzprägen gegenüber dem Spritzgießverfahren eine höhere Bauteilqualität, andererseits fallen dabei zum Teil erhebliche Kosten an. An dieser Stelle kommt die Prozesssimulation ins Spiel. Sie eröffnet nicht nur die Möglichkeit, analog zu technischen Bauteilen den jeweiligen Prozess abzubilden, sondern auch optische Eigenschaften wie Doppelbrechungen, Brechungsindex, Brechungsmuster oder Retardation zu berechnen. Damit steht hier ein Instrument zur Verfügung, das sowohl die Herstellung optischer Bauteile optimiert als auch Kriterien für eine fundierte Entscheidung liefert, welcher Prozess für welches Produkt aus qualitativer und wirtschaftlicher Sicht am besten geeignet ist.

### Erkenntnisse und Unterschiede in der Simulation

Die Prozesssimulation ist ein seit Jahren etabliertes Instrument, um – nicht nur im Rahmen des sogenannten Troubleshooting – Erkenntnisse über real vorhandene Fehler zu gewinnen. Darüber hinaus wird dieses Werkzeug in der Entwicklung eingesetzt, um schon im Vorfeld potenzielle Probleme zu erkennen und möglichst zu verhindern. Ferner können durch Simulation alternative Prozesse und Materialien evaluiert werden. Da allerdings die Prozesssimulation in vielen Fällen nur ein Teil der Entwicklungskette ist, gewinnt



**Bild 1.** Zweischichten-Spritzgießen: Darstellung des Berechnungsmodells für die erste und zweite Komponente inklusive Werkzeug und Temperierung © SimpaTec

die Kopplung unterschiedlicher Berechnungsmethoden an Bedeutung. So ist es in vielen Unternehmen durchaus üblich, die Prozesssimulation mit der strukturellen Simulation zu koppeln, um so zusätzliche Daten wie die anisotropen Materialeigenschaften, Bindenähte etc. zu übertragen.

Auch zur Auslegung von optischen Produkten stehen derartige Kopplungsmethoden zur Verfügung. So lässt sich aus Moldex3D u.a. der Brechungsindex oder auch die Verformung nach Code V, eine Software für optisches Design, ex-

portieren; auf diesem Weg erhält man aussagekräftigere Resultate, z.B. hinsichtlich möglicher Abbildungsfehler. Dies gilt sowohl für das Spritzgießen als auch das Spritzprägen.

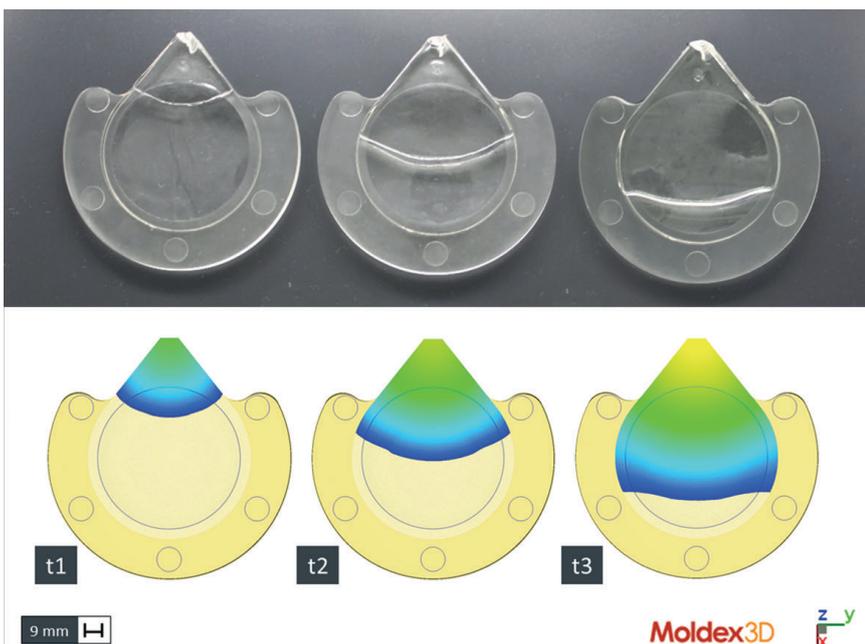
Man muss darauf hinweisen, dass sich sowohl die Berechnung des Spritzprägens als auch die der optischen Eigenschaften teilweise merklich von den Routinen beim Spritzgießen unterscheiden. Dies betrifft nicht nur die Prozesssteuerung, sondern auch die Behandlung des Berechnungsmodells. Die Berechnung erfolgt in 3D und wird für beide Prozesse in die Schritte Füllphase/Prägephase/Nachdruckphase/Kühlphase unterteilt.

Eine Besonderheit ergibt sich im Rahmen des Prägens. Um den Prägehub simulieren zu können, wird das Netz als Funktion der Zeit verformt. Entsprechend verändert sich die sogenannte Domain innerhalb der Berechnung. Oftmals werden die Kunststoffe mit Parametern wie Viskosität, pVT-Verhalten, Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärmekapazität, Coefficient of Linear Thermal Expansion (CLTE), Querkontraktionszahl und E-Modul beschrieben. Um für beide Prozesse auch die spezifischen Resultate der optischen Eigenschaften zu erhalten, werden die viskoelastischen Eigenschaften des Kunststoffs benötigt.

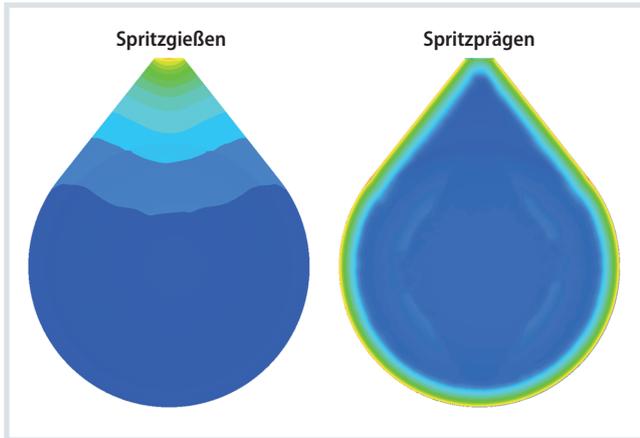
Auf diesem Wege können nicht nur Eigenschaften wie beispielsweise die Doppelbrechung oder Eigenspannungen berechnet werden, sondern es kann ebenfalls zwischen thermisch und fließinduziert unterschieden werden.

### Multilayer-Spritzgießen verkürzt Zykluszeit

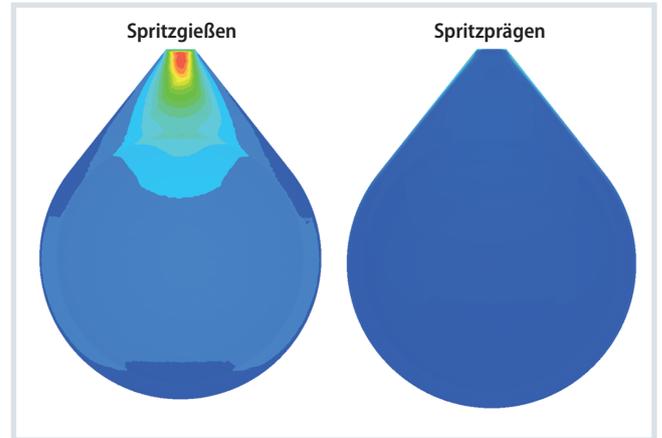
Optische Kunststoffbauteile, die z.B. als Vorsatzoptiken zur definierten Lichtverteilung zum Einsatz kommen, können Wanddicken von bis zu 60 mm aufweisen. Um die Qualität der Optik zu gewährleisten, können beim klassischen Spritzgießverfahren Zykluszeiten von mehr als 20 Minuten auftreten. Um diesem Effekt entgegenzuwirken und so eine Serienproduktion zu ermöglichen, wurde das Multilayer-Spritzgießen für dickwandige Linsen entwickelt. Das Mehrschichten-Spritzgießen ist an das Mehrkomponenten-Spritzgießen angelehnt; dabei wird die fertige Optik in mehreren Einspritzvorgängen erzeugt und somit die Zykluszeit auf eine wirtschaftlich akzeptable Dauer verkürzt. »



**Bild 2.** Die Füllstudie zeigt die hohe Übereinstimmung zwischen Spritzgießrealität und Simulation © IKV/SimpaTec



**Bild 3.** Der ausgeprägte Druckgradient beim Spritzgießen steht im Gegensatz zur homogenen Druckverteilung beim Spritzprägen © SimpaTec



**Bild 4.** Die fließinduzierte Eigenspannung in XX-Richtung ist beim Spritzgießen stärker ausgeprägt als beim Spritzprägen © SimpaTec

Sowohl die Core-Back-Technik als auch die Transfer- und Drehtellertechnik, die schon etablierte Konzepte zur Herstellung von Mehrkomponentenbauteilen sind, können im Multilayer-Spritzgießen eingesetzt werden. Des Weiteren kann ein konturnahe Temperiersystem und/oder eine dynamische Temperierstrategie zu einem gleichmäßigeren Abkühlen und somit zu geringen Eigenspannungen führen. Im Folgenden wird die Herstellung optischer Linsen im Multilayer-Spritzgießen mit der Core-Back-Technik und deren Simulation erläutert.

Die verwendete Geometrie [7] wird vom Institut für Kunststoffverarbeitung

(IKV) der RWTH Aachen zur Verfügung gestellt. Simuliert wird eine zweischichtige, asphärische, bikonvexe Linse. In der Gesamtübersicht des Simulationsmodells (**Bild 1**) sind das Werkzeug (WZ), das allgemeine Kühlsystem (aKS), das konturnahe Kühlsystem (kKS), der Heißkanal (HK) und der Kaltkanal (KK) zu sehen. Darunter sind der Vor- (VS) und der Nachspritzling (NS) sowie die Kompressionszone (KZ) für das Spritzprägeverfahren abgebildet. Die Kompressionszone entfällt beim Spritzgießen.

### Simulationsmodell und -ablauf für eine bikonvexe Linse

Als Material wird ein PMMA (Typ: Plexiglas 7N; Hersteller: Evonik Performance Materials GmbH, Darmstadt) eingesetzt. Für die Herstellung dieser Formgeometrie wird ein Werkzeug mit Core-Back-Technik verwendet [8]. Dieses Werkzeugkonzept ermöglicht es mithilfe eines hydraulischen Kernrückzugs, Vor- und Nachspritzling in derselben Kavität herzustellen. Der Prä-

gehub der Kompressionszone erfolgt über eine Prägerahmenkonstruktion und die Schließbewegung der Spritzgießmaschine.

Bei der Simulation des Spritzgießprozesses wird im ersten Schuss die Kavität des Vorspritzlings ausgefüllt. Erreicht dieser die zuvor bestimmten Entformungskriterien, wird der physikalische Zustand des Bauteils für den zweiten Schuss übertragen. Der schließseitige Werkzeugkern wird zurückgezogen und somit der Kavitätsraum des Nachspritzlings freigegeben. Mit dem zweiten Schuss wird der Nachspritzling in Form gebracht. Beim Spritzprägeverfahren wird hier der Vorspritzling analog zum Spritzgießen erstellt und ebenso übertragen. Beim Füllen des Nachspritzlings fährt der Prägekern bei einem zuvor bestimmten Füllvolumen mit definiertem Prägekraft- und Geschwindigkeitsprofil zu.

Für den Nachspritzling hat das IKV eine Füllstudie im Spritzgießverfahren durchgeführt, die mit einer von Simpa-

## Die Autoren

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

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

### Dank

Die Autoren danken Dr. Malte Röbig (IKV) für die zur Verfügung gestellten Informationen.

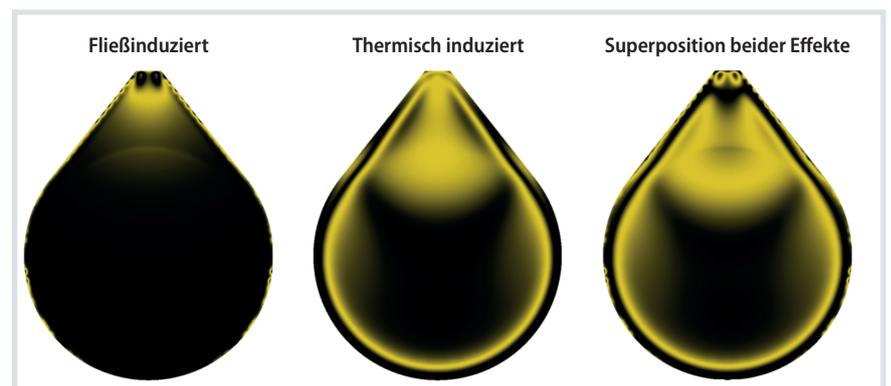
## Service

### Literatur & Digitalversion

- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/2020-05](http://www.kunststoffe.de/2020-05)

### 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 5.** Fließinduzierte und thermisch induzierte Brechungsmuster sowie die Überlagerung beider Effekte für die simulierte Linse am Beispiel Spritzgießen © SimpaTec

Tec ausgeführten Simulation abgeglichen wird. In den drei ausgewählten Zeitschritten (t1 bis t3) ist deutlich zu erkennen, dass die simulierte Fließfront im Vergleich zur realen Fließfront gut abgebildet wird (**Bild 2**).

### Vergleich der Simulationsergebnisse

Die Ergebnisse der Spritzgieß- und Spritzprägesimulationen werden einander gegenübergestellt. Beim Vergleich der Druckverteilung am Ende der Nachdruckphase (Spritzgießsimulation) und nach der Prägephase (Spritzprägesimulation) ist ein ausgeprägter Druckgradient ausgehend vom Anspritzpunkt beim Spritzgießen zu erkennen, während die simulierte Linse aus dem Spritzprägeverfahren eine homogenere Druckverteilung an den optischen Funktionsflächen aufweist (**Bild 3**).

Wenn man die lokalen fließinduzierten Eigenspannungen in XX-Richtung anhand von Falschfarbendiagrammen veranschaulicht, sind analog zu den Druckergebnissen auch an dieser Stelle deutliche Unterschiede zwischen den simulierten Linsen sichtbar, die im Spritzgieß- und im Spritzprägeverfahren berechnet wurden (**Bild 4**). Im Gegensatz zur spritzgegossenen Linse zeichnet sich die spritzgeprägte Linse durch einen geringeren Eigen-

spannungsgradienten aus, woraus bessere optische Eigenschaften resultieren.

Die fließinduzierten und die thermisch induzierten Brechungsmuster der simulierten Linse zeigen deutliche Unterschiede, beide Effekte lassen sich auch überlagern (**Bild 5**). Diese Simulationsergebnisse können unter Berücksichtigung realer, polarisationsoptischer Aufnahmen zur Fehleranalytik im Rahmen der Qualitätssicherung herangezogen werden. Die Trennung der fließ- und thermisch induzierten Brechungsmuster lässt außerdem eine gezielte Ursachenanalyse zu.

### Fazit

Spritzgießen vs. Spritzprägen? Konturnähe vs. konventionelle Temperierung? Dies sind nur zwei aus einer ganzen Bandbreite von Fragen, die mit einer simulationstechnischen Berechnung im Vorfeld beantwortet werden können. Sicherlich liefert auch die „klassische“ Spritzgießsimulation schon viele Antworten. Doch zeigen die dargestellten Kopplungsmethoden, dass die Möglichkeiten mittlerweile deutlich weiter gehen, um ein im Vorfeld verbessertes Produkt bei optimalen Prozessbedingungen zu fertigen, unter Berücksichtigung sowohl von technischen als auch von wirtschaftlichen Aspekten. ■

## Gezielte Belüftung auf der Kernseite

### Sichere Entformung großvolumiger Teile

Belüftungsventil  
Z4913 © Hasco



Insbesondere großvolumige, hohle Spritzgussartikel lassen sich aufgrund eines entstehenden Vakuums in der Kavität oft nur schwer entformen. Das neue Belüftungsventil Z4913 der **Hasco** Hasenclever GmbH + Co KG, Lüdenscheld, gewährleistet durch seine stabile Bauweise einen sichereren Fertigungsprozess, indem es durch gezieltes Belüften der Kunststoffartikel auf der Kernseite das störende Vakuum zuverlässig auflöst.

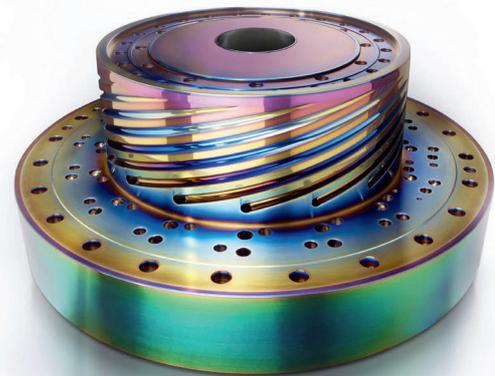
Die einfache Montage und Demontage in die Aufnahmebohrung ermöglichen einen schnellen und sicheren Ein- und Ausbau des Ventils, wobei der Passungssprung die Gefahr eines Verkantens deutlich reduziert. Eine mechanische Hubbegrenzung erhöht zusätzlich die Prozesssicherheit.

Die Belüftungsventile können flexibel positioniert und platzsparend eingebaut werden. Alle Komponenten, die mit Schmelze in Berührung kommen, sind aus korrosionsfreiem Edelstahl gefertigt und beständig gegen aggressive Kunststoffe. Die für Schnellläufer geeignete Bauweise kann für Arbeitsdrücke von 3 bis 10 bar sowie Temperaturen bis max. 250°C eingesetzt werden.

Mehr dazu und zu einem Umlenkstopfen für Temperierkanäle:  
[www.kunststoffe.de/10665624](http://www.kunststoffe.de/10665624)

# 60

Prozent reduzierte  
Stillstandzeiten  
beim Extrudieren!



Beim Extrudieren spielt die Formwerkzeug-Oberfläche eine entscheidende Rolle. Die Herausforderungen sind meist lokale Verklebungen auf der Oberfläche sowie Abrieb und Kratzer durch aggressives Reinigen.

Die überzeugende Lösung:  
**BALINIT® CROMA PLUS**

- Weniger Anhaftungen
- Verkürzte Anfahrzyklen
- Verlängerte Reinigungsintervalle



**oerlikon**  
balzers

[www.oerlikon.com/balzers/de](http://www.oerlikon.com/balzers/de)