

Neue Software „optimelt sequence“ reduziert Mikrofehlstellen in optischen Bauteilen

## Innere Defektfreiheit für brillante Bilder

Optische Bauteile stellen beim Spritzgießen besonders hohe Anforderungen, auch an die innere Defektfreiheit. Tomographische Analysemethoden können selbst Mikrofehlstellen in der Größenordnung von unter 20 µm erkennen. Hauptursache für diese sehr kleinen Fehlstellen sind Gase, die entweder aus dem Material oder der Umgebung in die Schmelze gelangen. Mit einer neuen Software will Engel bei der Verarbeitung transparenter Kunststoffe den Einschluss von Gasen reduzieren und eine konstant hohe Schmelzequalität sicherstellen.



Die Qualität mit dem Smartphone aufgenommener Fotos steigt mit jeder neuen Gerätegeneration an. Damit erhöhen sich zugleich die Anforderungen an die optischen Kunststofflinsen. © iStock

**O**b Brillen, Kameras oder Automobilscheinwerfer – optische Kunststoffkomponenten spielen in unserem Alltag eine wichtige Rolle. Um die Verarbeitung von Kunststoffen für optische Anwendungen auf höchstem Niveau zu gewährleisten, betreibt die Engel Austria GmbH seit vielen Jahren intensive Forschung. Den Ausgangspunkt stellten die Entwicklungen in der Smartphone-Industrie dar. Seit dem Aufkommen dieser multifunktionalen Geräte steigt die Leistungsfähigkeit deren Kameras kontinuierlich an. Die Bilder werden immer schärfer, die Lichtverhältnisse immer besser ausgeglichen und die Farbqualität immer brillanter. Lag die Sensorauflösung der ersten kamerafähigen Mobiltelefone Anfang der 2000er-Jahre im

Bereich von 0,3 Megapixel, schaffen neueste Modelle führender Smartphone-Hersteller mehr als 100 Megapixel. Zudem wird die Anzahl an verbauten Kameramodulen stetig erhöht, um durch die softwareunterstützte Kombination der Bilder die Qualität weiter zu steigern. Vor dem Hintergrund, dass einzelne Kameramodule wiederum aus einer Vielzahl an optischen Linsen bestehen, kristallisiert sich die hohe Bedeutung der Qualität dieser winzigen Bauteile heraus.

Leistungsstarke transparente Kunststoffe, allen voran Polycarbonat (PC) und Cycloolefin-Copolymere (COC), haben Glas aus diesem Marktsegment verdrängt. Entscheidend sind das geringere Gewicht, der niedrigere Energieeinsatz bei der Verarbeitung und die damit

verbundenen niedrigeren Herstellkosten. Hinzu kommt die Möglichkeit, im Spritzgießverfahren sowohl sehr komplexe als auch sehr feine Strukturen abbilden zu können.

Bei der Herstellung optischer Linsen gibt es vor allem zwei Risiken für Fehlstellen:

- einerseits an der Oberfläche, wo es zu Schlieren oder anderen Defekten kommen kann;
- andererseits begünstigt das Linsenvolumen die Bildung von kleinen Fehlstellen, wie Lunkern.

Während sich die Bildung von Lunkern schon im Standard-Spritzgießprozess durch die Optimierung der Prozessführung verhindern lässt, stellt das Risiko anderer kleiner Fehlstellen den Anwen-

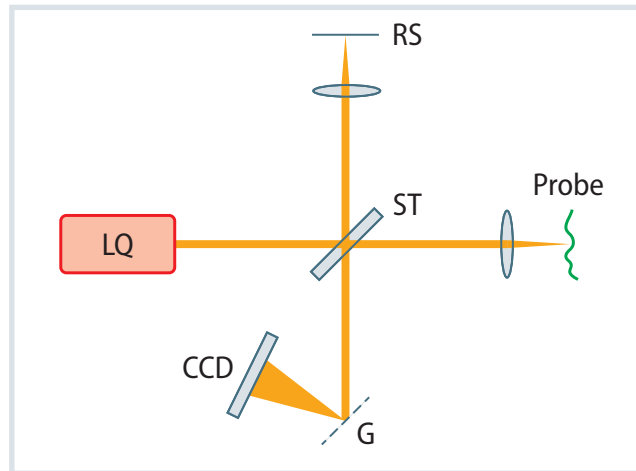
der oftmals vor größere Probleme. Kritisch sind vor allem sogenannte Microvoids, Mikrofehlstellen in der Größenordnung unter  $20\text{ }\mu\text{m}$ , die sich durch herkömmliche lichtmikroskopische Untersuchungen nicht sichtbar machen lassen. Engel musste daher zunächst eine zuverlässige Messmethode für diese Art von Fehlstellen finden und evaluieren, um im Anschluss den Spritzgießprozess optimieren zu können.

### Kleinste Fehlstellen sichtbar machen

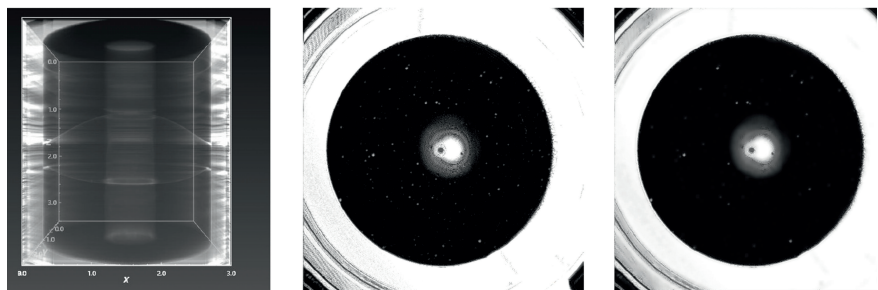
Die Entwicklung hin zu immer höherauflösenden Sensoren mit höherer Lichtempfindlichkeit und Kameramodulen, die für einen sehr großen Digitalzoombereich genutzt werden, reduziert die Größe der akzeptablen Fehlstellen auf Bereiche, die für das menschliche Auge selbst unter dem Mikroskop nicht mehr erkennbar sind. Um diese Fehlstellen sichtbar zu machen, sind spezielle Messmethoden notwendig, wobei die optische Kohärenztomographie (Optical Coherence Tomography, OCT) hinsichtlich Auflösung und Messdauer ein vielversprechender Kandidat ist.

Die OCT wird zur Erstellung hochauflösender 2D- bzw. 3D-Bilder in organischen und anorganischen Materialien verwendet und als optisches Äquivalent zur Ultraschallmessung gesehen. Mittels Weißlichtinterferometrie nutzt sie Interferenzen zwischen dem Referenzstrahl und dem aus der Probe rückgestreuten Licht zur Erstellung eines Tiefenprofils (**Bild 1**). Eine Lichtquelle (LQ) strahlt dabei durch einen Strahlenteiler (ST), wobei ein Referenzstrahl (RS) und ein Strahl zur Probe gebildet werden. Die Detektion von Interferenzen geschieht nach Spektralzerlegung mithilfe eines Gitters (G) am Detektor (CCD). Je nach verwendeter Lichtquelle sind Tiefenauflösungen von  $1\text{ }\mu\text{m}$  und laterale Auflösungen von  $0,5\text{ }\mu\text{m}$  möglich.

OCT-Analysen bringen einige Herausforderungen mit sich. Die größten stellen sogenannte Speckles dar, die durch die unvermeidbare Vorwärtsstreuung der Strahlung in der Probe entstehen. Sie äußern sich auf den aufgenommenen Bildern als weiße Punkte, die kaum von den gesuchten Microvoids zu unterscheiden sind. Aufbauend auf Vorarbeiten der Research Center for Non



**Bild 1.** Die optische Kohärenztomographie (OCT) liefert zwei- und dreidimensionale Aufnahmen aus lichtstreuenden Proben in Mikrometernaauflösung. Quelle: TU Dresden [1]; Grafik: © Hanser



**Bild 2.** Die Volumendarstellung einer OCT-Messung (links) – Breite des Messbereichs: 3 mm – lässt den Linsenquerschnitt erkennen. Daraus abgeleitet werden XY-Schnitte. Das Bild rechts macht nach der Speckle-Entfernung die Microvoids sichtbar. © Engel

Destructive Testing GmbH hat Engel gemeinsam mit dem Institut für Polymer-Spritzgießtechnik und Prozessautomatisierung der Johannes Kepler Universität Linz eine Auswerterroutine erarbeitet, die zuverlässig zwischen Speckles und Microvoids unterscheiden kann. Erst mithilfe dieses Ablaufs lässt sich die Microvoid-Problematik in Smartphone-Linsen quantifizieren.

Bei der OCT-Vermessung einer zufällig ausgewählten Linse (**Bild 2**) lässt sich in der Bildmitte der Darstellung links schemenhaft der Linsenquerschnitt erkennen. Um die Microvoids sichtbar und schließlich zählbar zu machen, wird der Volumenscan in Schnitte zerlegt (Bild Mitte). Durch Applikation eines Algorithmus können Speckles erkannt und entfernt werden, was zur Sichtbarmachung der tatsächlichem Microvoids führt (Bild rechts).

Die OCT-Messung in Verbindung mit einem entsprechenden Auswertealgorithmus macht damit deutlich, dass herkömmlich produzierte Smartphone-Linsen, die unter dem Lichtmikroskop einwandfrei aussehen, von Microvoids mit Durchmessern von  $10\text{ bis }20\text{ }\mu\text{m}$  »

## Neue Software

### optimelt sequence – full featured

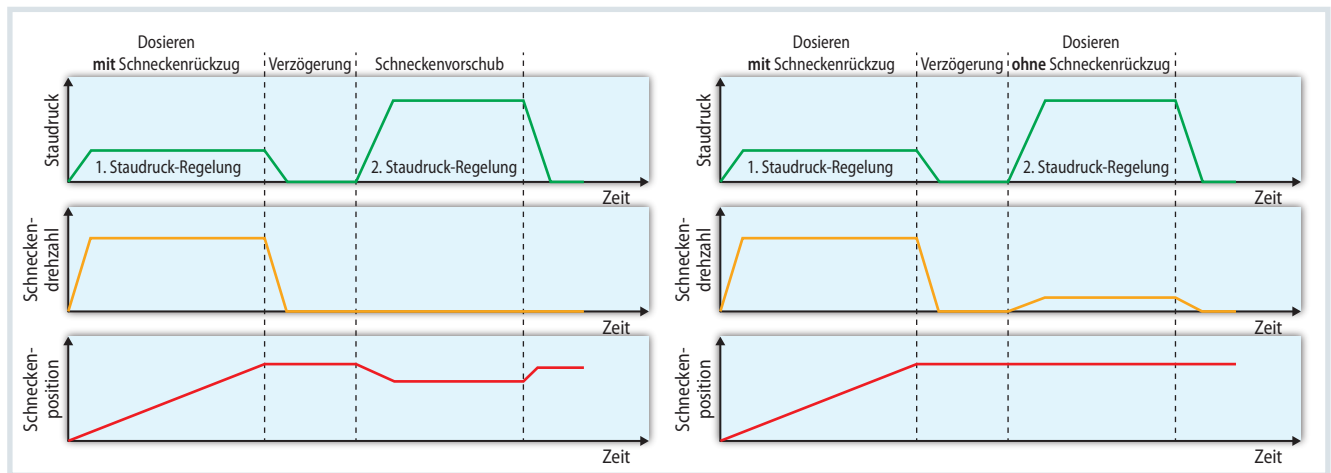
Die Software gibt dem Verarbeiter Bausteine zur Erweiterung des Plastifizierprozesses an die Hand. Ziel ist es, den Maschinenablauf zu individualisieren. Ein Auszug der Funktionalitäten:

- Mehrere Plastifiziersequenzen konfigurierbar
- Plastifiziersequenzen austauschbar
- Eigene Übersichtsseite mit wichtigsten Einstellparametern
- Darstellung der Plastifiziersequenzen

### optimelt sequence – erste Ausbaustufe

Zusätzliche Schritte im Ablauf der frei konfigurierbaren Plastifiziersequenz:

- Dosieren bis Dosiervolumen
- Kompressionsentlastung nach Dosieren
- Schnecke rückdrehen mit SmartShut
- Staudruck über Schneckenposition
- Staudruck über Schneckendrehzahl
- Zusätzliche Zeiten



**Bild 3.** Ablaufschema: Neben der Staudruckerzeugung über einen axialen Schneckenanschub (Staudruck über Schneckenposition, links) kann auch über Schneckenrotation (Staudruck über Schneckendrehen, rechts) Druck erzeugt werden. Quelle: Engel; Grafik: © Hanser

durchgezogen sind. In den Versuchen wurden pro Linse mehr als 1000 Microvoids gezählt.

### Individualisierbare Plastifizierung ist der Schlüssel

Verantwortlich für das Entstehen von Microvoids sind Gase, die trotz sorgfältiger Materialvorbereitung und Beschickung im Prozess auftreten. Dabei lassen sich zwei Hauptursachen identifizieren [2]: erstens die Verteilung nicht gelöster größerer Luft einschüsse und zweitens die Agglomeration noch kleiner Voids. Ziel der Entwicklungsarbeit war es deshalb, Möglichkeiten zu finden, die Schmelze von Gasen zu befreien bzw. deren Inklusion zu vermeiden.

Im herkömmlichen Spritzgießprozess bietet selbst eine Kompressionsentlastung vor und nach dem Dosieren oft nicht genügend Flexibilität, um in der Schmelze vorhandene Gase zu eliminieren. Nach dem Henry-Gesetz [3] besteht ein direkter Zusammenhang zwischen dem Druck, unter dem die Kunststoffschmelze steht, und der Gasmenge, die in ihr gelöst werden kann. Es ist daher naheliegend, etwaige Gasvorkommen durch geeignetes Prozess- und Druckmanagement während der Verarbeitung lösen zu können, um die Bildung von Mikrofehlstellen zu vermeiden.

Ziel war es daher, zusätzliche Möglichkeiten für eine Druckbeaufschlagung der Schmelze zu schaffen. Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Werkstoffe und kundenspezifischer Produktionsbedingungen bedeutet dies, den Plas-

tifizierungsprozess hochgradig zu individualisieren.

Das Ergebnis der Entwicklungsarbeit ist die Software „optimelt sequence“, die dem Verarbeiter eine Vielzahl neuer Bausteine an die Hand gibt, um den Plastifizierungsprozess zu erweitern (**Infokasten S. 35**). In der ersten Ausbaustufe bietet die Software Bausteine, um den Maschinenablauf zu individualisieren. Kernelement ist hierbei die frei konfigurierbare Plastifizierungssequenz, die als Zusatzsequenz in den Ablauf programmiert werden kann. Darin können Ablaufschritte wie Dosieren, Schneckenrückdrehen zum Schließen der zwangsschließenden Rückström Sperre (Typ: SmartShut) oder Kompressionsentlastungen programmiert werden. Auch zwei Optionen zum Aufbringen des Staudrucks stehen zur Verfügung. Diese Druckbeaufschlagung ist

## Info

### Text

**DI Dr. BSc Clemens Kastner** ist Produktmanager Technologien bei der Engel Austria GmbH, Schwertberg/Österreich; Clemens.Kastner@engel.at

**Dr. -Ing. Norbert Müller** ist Vice President Globale Anwendungstechnik bei Engel; Norbert.Mueller@engel.at

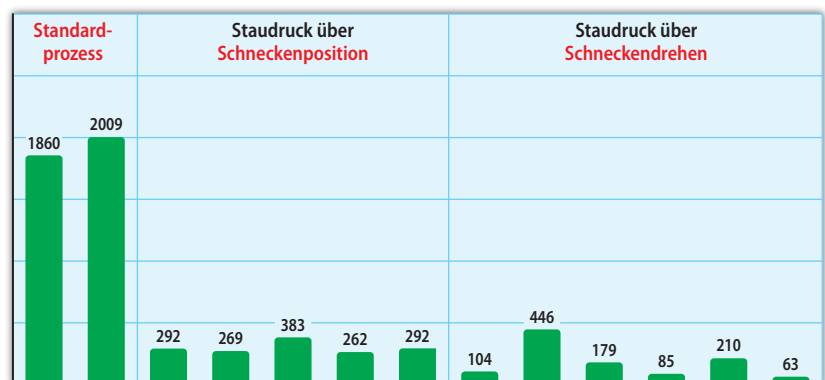
### Literatur & Digitalversion

Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter

[www.kunststoffe.de/onlinearchiv](http://www.kunststoffe.de/onlinearchiv)

### 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 4.** Die Zahlen geben die jeweils pro Linse detektierte Anzahl an Microvoids an. Die Darstellung verdeutlicht, dass diese Zahl mit optimelt sequence und den zusätzlichen Druckbeaufschlagungen deutlich reduziert werden kann. Quelle: Engel; Grafik: © Hanser



wiederum bezüglich Höhe, Dauer und Zeitpunkt beliebig einstellbar.

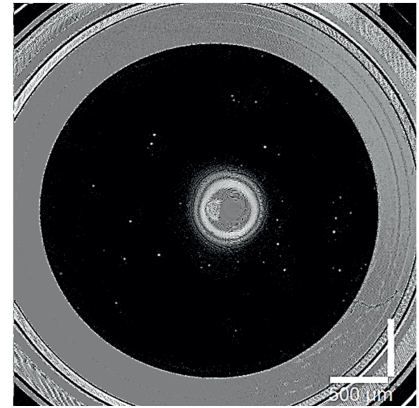
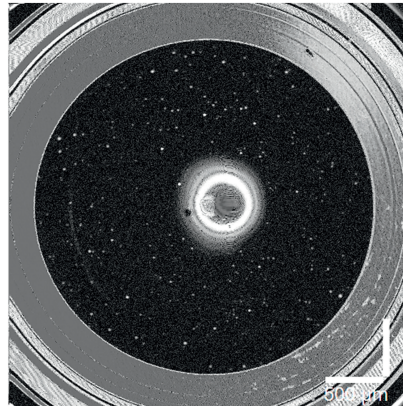
### Variabilität in der Schmelzekompression

Neben der Staudruckerzeugung über einen axialen Schneckenvorschub (Staudruck über Schneckenposition) kann auch über Schneckenrotation (Staudruck über Schneckendrehen) Druck erzeugt werden (**Bild 3**). Während bei der Staudruckvariante über Schneckenposition ein axialer Hub ausgeführt wird, steht die Schnecke bei der Variante über Schneckendrehen axial still. Es ist zu bemerken, dass diese Ablaufsequenzen lediglich beispielhafter Natur sind. Sie stellen eine starke Vereinfachung eines realen Ablaufs dar und sind nur eine von vielen Möglichkeiten, wie die Bausteine eingesetzt werden können. Mithilfe des Baukastensystems kann der Anwender den Ablauf je nach Anforderung flexibel gestalten und anpassen.

Hervorzuheben ist die Genauigkeit, mit der die Staudruckerzeugung mittels Schneckendrehen geschieht. Die Fließvorgänge während dieser Art der Druckerzeugung sind vielfältig und selbst bei einfachster Betrachtung stehen sich Druckströmungen Richtung Einzug und Schleppestömungen Richtung Schneckenraum gegenüber. Dabei sind etwaige Leckströmungen über die Schneckenstege und die Rolle des Sperrings noch nicht berücksichtigt. Elektrische Spritzaggregate von Engel schaffen es dennoch, den Staudruck über einen beliebigen Zeitraum in einem Intervall von  $\pm 1\%$  um den Sollwert zu halten. Die optimelt-sequence-Software steht aktuell für elektrische Spritzaggregate zur Verfügung.

### Anzahl der Microvoids klar niedriger

Der Nutzen der Software bei der Spritzgießproduktion optischer Linsen wurde in zahlreichen Versuchsreihen untersucht. OCT-Analysen haben jeweils



**Bild 5.** Durch Anwendung von optimelt sequence weisen die Kunststofflinsen deutlich weniger Mikrofehlstellen auf (rechts). Die Linse im OCT-Schnittbild links wurde im Standard-Spritzgießprozess produziert. © Engel

bestätigt, dass das an die jeweiligen Anforderungen angepasste Druckmanagement die Zahl der Microvoids drastisch reduziert. In den hier dargestellten Ergebnissen (**Bild 4**) wurde pro Zyklus (pro Schuss) jeweils eine Linse charakterisiert. Die einzelnen Balken spiegeln die Variation der Prozessparameter wider, wie Höhe und Dauer der Druckbeaufschlagung sowie Zeitpunkt während der Schmelzaufbereitung. Die Zahlen geben die jeweils pro Linse detektierte Anzahl an Microvoids an. Die Darstellung verdeutlicht, dass mit den durch optimelt sequence ermöglichten zusätzlichen Druckbeaufschlagungen die Anzahl der Microvoids deutlich reduziert werden kann. Die Variabilität, die die Software ermöglicht, erlaubt eine zusätzliche prozess- und anwendungsspezifische Optimierung.

Um ein besseres Verständnis zu vermitteln, was die rein numerische Darstellung in der Realität bedeutet, zurück zur Praxis (**Bild 5**): In den Schnittbildern aus OCT-Messungen sind die Mikrofehlstellen durch die weißen Punkte deutlich zu erkennen. Während das linke Bild eine im Standard-Spritzgießprozess erzeugte Linse zeigt, wurde zur Herstellung der Linse im rechten Bild ein individualisierter Ablauf mithilfe der neuen Software gewählt.

### Ausblick: Lichtleiter und mechanisch beanspruchte Bauteile

Da durch die Reduktion von Fehlstellen stets eine Verbesserung der optischen Eigenschaften erzielt werden kann, eröffnet die neue Software ein großes Potenzial für die Herstellung optischer Produkte aus transparenten Kunststoffen, außer für Smartphones zum Beispiel im Bereich der Medizintechnik. Engel evaluiert weitere Anwendungsfelder für die Technologie, die insgesamt zu einer Verbesserung der inneren Struktur von Spritzgussteilen beiträgt. Unter anderen werden Lichtleiterstrukturen, dickwandige Linsen und auch Head-up-Displays eingehend untersucht. Vor allem bei Lichtleitern, in denen das Licht weite Wege im Bauteil zurücklegen muss, sind durch die Reduktion von Mikrofehlstellen deutliche Verbesserungen zu erwarten. So ist beispielsweise denkbar, dass der oftmals problematische Verlust von blauem Licht entlang des Lichtleiters verringert werden kann.

Ein weiterer Einsatzbereich von optimelt sequence könnte sich in mechanisch beanspruchten Bauteilen ergeben. Vor allem bei zyklischen Belastungen gehen Risse oft von kleinsten Fehlstellen im Material aus. Eine Reduktion ebendieser Fehlstellen könnte die Dauerfestigkeit entsprechend verbessern. ■



**AACHEN POLYMER OPTICS DAYS**

Das Treffen der Kunststoffoptik-Experten in Aachen

1.–2. JUNI 2022 | Jetzt registrieren

[www.ipt.fraunhofer.de/apod](http://www.ipt.fraunhofer.de/apod)

**Fraunhofer**



**INSTITUTE FOR PLASTICS PROCESSING**  
in Industry and Craft at RWTH Aachen University