

# Mischgüte in Einschneckenextrudern vorhersagen

## Effizientere Einfärbung von Kunststoffen in Hochleistungsextrudern

Kunststoffe lassen sich auf Einschneckenextrudern einfärben und direkt verarbeiten. Die stoffliche und thermische Homogenität sicherzustellen, bedeutet allerdings gerade bei durchsatzangepassten Hochleistungsextrudern eine große Herausforderung. Mit der hier aufgezeigten neuartigen Simulationsmethode lassen sich Scher- und Mischteile ohne aufwendige Versuche innerhalb kurzer Entwicklungszeiten und kostensparend auslegen.

Kunststoffverarbeiter können auf Nachfrageschwankungen flexibel reagieren, wenn sich auf den Verarbeitungsmaschinen Kunststoffe einfärben und direkt zu einem Produkt verarbeiten lassen. Der Verarbeiter kann beispielsweise auf einem Einschneckenextruder Farbwechsel zügig umsetzen, indem er Farbmasterbatches zudosiert. Dadurch entfällt das Einfärben auf einer Aufbereitungsmaschine, wie z.B. einem Doppelschneckenextruder, und damit auch ein zusätzlicher Aufschmelzprozess. Dies wirkt sich nicht nur positiv auf die Energieeffizienz aus, sondern der Kunststoff wird auch thermisch weniger beansprucht.

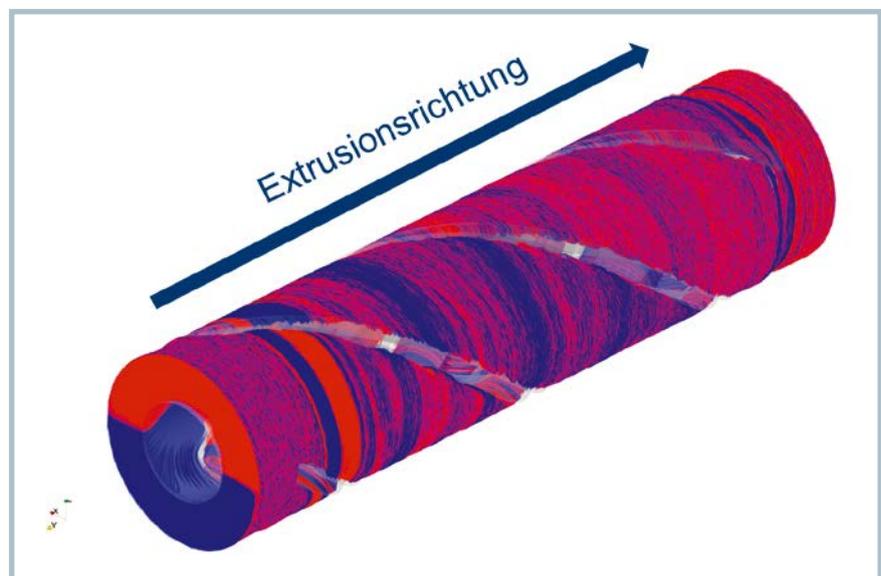
Allerdings ist die Mischwirksamkeit einer Verarbeitungsmaschine in der Regel deutlich schwächer ausgeprägt als die einer Aufbereitungsmaschine, wie z.B. eines Doppelschneckenextruders [1]. Dieser Nachteil macht sich besonders bei schnelllaufenden Hochleistungsextrudern bemerkbar. Während eine hohe Schneckendrehzahl im Allgemeinen die Mischgüte begünstigt, kann sie gleichzeitig die Temperatur massiv erhöhen, was im schlimmsten Fall den Kunststoff thermisch schädigt [2]. Die Folgen für die Produktqualität können fatal sein: Neben Verfärbungen am Extrudat, die meist sofort sichtbar sind, können sich auch mechanische Eigenschaften verschlechtern, die der Verarbeiter nicht direkt im Blick hat, wie Elastizitätsmodul, Zugfestigkeit oder Bruchdehnung. Dies äußert sich im Regelfall erst durch ein Bauteilversagen beim Endverbraucher.

### Auslegung von Scher- und Mischteilen

Um einen Kompromiss zwischen Durchsatz, Mischgüte und Temperaturentwicklung zu finden, müssen Scher- und Mischteile mit dem Ziel ausgelegt werden, eine möglichst hohe Mischgüte zu erreichen

Druckverlust sich häufig bei der Auslegung berücksichtigen lässt.

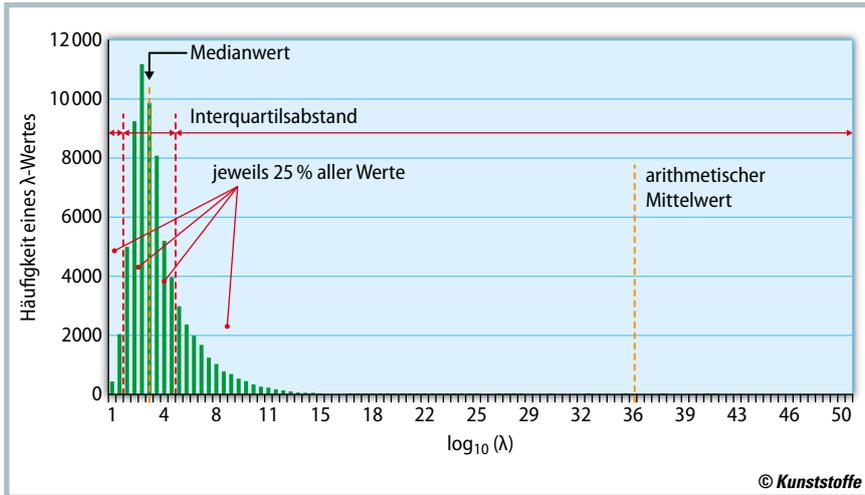
Für die Auslegung von Scher- und Mischteilen ist die numerische Strömungssimulation bereits Stand der Technik [3]. Sie erlaubt einen dreidimensionalen Einblick in die Vorgänge im Strö-



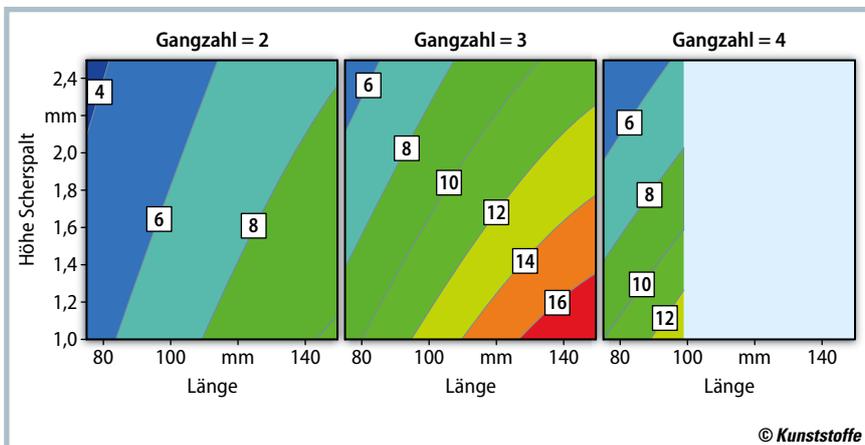
**Bild 1.** Partikelbahnen im Wendelscherteil: Die unterschiedliche Farbcodierung der Partikel verdeutlicht den distributiven Mischvorgang, hat aber für die Ermittlung der dispersiven Mischgüte keine Bedeutung (© IKT)

und gleichzeitig nicht nur die Temperaturentwicklung in der Schmelze einzudämmen, sondern auch den Druckverlust und den damit verbundenen Energieverbrauch. Denn Mischteile gehören in der Regel zu den Druckverbrauchern, deren

Druckverlust sich häufig bei der Auslegung berücksichtigen lässt. Während die Geschwindigkeits-, Druck- und Temperaturverteilung direkte Ergebnisgrößen der Strömungssimulation sind, ist für die Bewertung der Mischgüte in der Regel ein weiterer Schritt notwendig. Häufig werden da- »



**Bild 2.** Dispersive Mischgüte: Aufgetragen ist für ein typisches Wendelscherteil die Häufigkeit, mit der virtuelle Partikel einen bestimmten  $\lambda$ -Wert aufweisen (Quelle: IKT)



**Bild 3.** Medianwert von  $\lambda$ : Höhe der mittleren Deformation in Abhängigkeit von der Länge, der Scherspalthöhe und der Gangzahl (Quelle: IKT)

für sogenannte Particle-Tracking-Ansätze verwendet. Sind die Strömungsgeschwindigkeiten errechnet und bekannt, wird in der Simulation am Eintritt in die Mischergeometrie eine bestimmte Anzahl virtueller masseloser Teilchen aufgegeben, die der Strömung schlupffrei folgen. Somit ist die Position dieser Partikel zu jeder Zeit bekannt und ihre Verteilung kann am Austritt oder an beliebigen anderen Schnittebenen der Mischergeometrie ausgewertet werden. Daraus lässt sich dann eine distributive Mischgüte ableiten

Parameter	Variierter Bereich	Schrittweite
Länge	75–150 mm	25 mm
Gangzahl	2–4	1
Höhe des Scherspalts	1–2,5 mm	0,5 mm

**Tabelle 1.** Geometrievariation des Wendelscherteils (Quelle: IKT)

[4]. Allerdings spielt beim Einfärben eines Kunststoffs die distributive, also verteilende Wirkung des Mixers eine eher untergeordnete Rolle. Wichtiger sind die Strömungskräfte, die in Form von Scher- und Dehnformationen auf die Farbpartikel wirken und sie nahezu homogen in die Kunststoffschmelze einmischen.

### Neuartige Simulationsmethode

Aus diesen Gründen wurde am Institut für Kunststofftechnik (IKT) der Universität Stuttgart eine neuartige Simulationsmethode eingeführt, die zur Auslegung von Scher- und Mischteilen bereits im Einsatz ist [5]. Durch Lösen der Masse-, Impuls- und Energieerhaltungsgleichung ergibt sich dabei zunächst auf konventionelle Art das dreidimensionale Strömungsfeld, auf das sich dann die Particle-Tracking-Methode anwenden lässt (**Bild 1**).

Entlang der Partikelbahnen werden die Deformationen, die aus dem Geschwindigkeitsfeld resultieren, mithilfe einer Differentialgleichung berechnet und aufgezeichnet.

Für jedes virtuelle Partikel lassen sich dann die resultierenden Deformationen am Austritt des Wendelscherteils ausgeben und in Form einer Verteilung auswerten. Die Gesamtdeformation eines virtuellen Partikels am Austritt bezogen auf den initialen Wert am Eintritt in den Mischer ergibt den Wert  $\lambda$  als Maß für die dispersive Mischgüte. Da in der Regel für  $\lambda$  bei verschiedenen Partikeln sehr hohe und sehr kleine Werte auftreten können, hat der arithmetische Mittelwert wenig Aussagekraft bei der Bewertung einer Geometrievariante. Aus diesem Grund wird am IKT der Medianwert eingesetzt, um die repräsentative Höhe zu bewerten und der Interquartilsabstand, um die Gleichmäßigkeit der Deformationsverteilung auszudrücken (**Bild 2**). Anzustreben ist demnach ein hoher Medianwert (hohe mittlere Deformation) und gleichzeitig ein kleiner Interquartilsabstand (enge Verteilung der Deformationen).

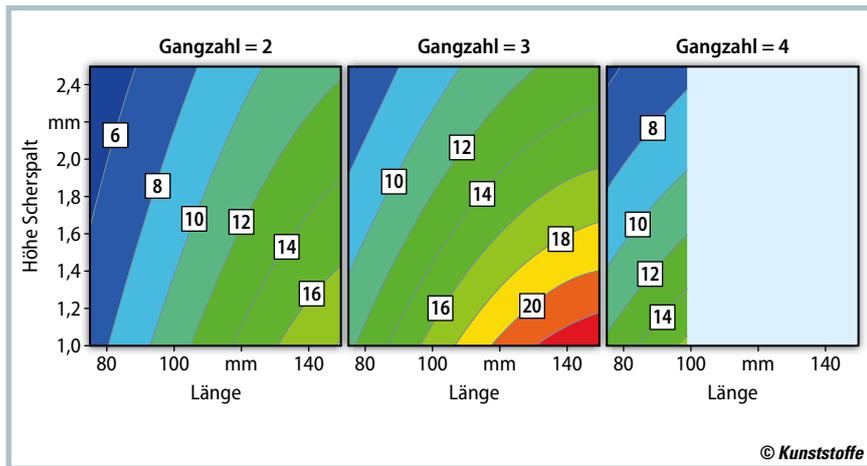
Im Folgenden soll ein Wendelscherteil mit dieser neuen Methode hinsichtlich der dispersiven Mischgüte ausgelegt werden. Auch die Temperaturentwicklung und das Druckverhalten lassen sich berücksichtigen, allerdings würde die Darstellung den Umfang dieses Artikels sprengen.

### Randbedingungen

Es wird ein Wendelscherteil für einen schnelllaufenden Extruder mit einem Zylinderinnendurchmesser von 35 mm bei einer Drehzahl von 750 U/min und einem Durchsatz von 168,3 kg/h ausgelegt. Der zu verarbeitende Kunststoff ist ein Polystyrol PS 486 N des Anbieters Ineos Styrolution Group GmbH, Frankfurt am Main. Das temperaturabhängige und strukturviskose Fließverhalten wurde mit einem Carreau-WLF-Ansatz [1] modelliert. Die variierten Geometrieparameter des Wendelscherteils sind in **Tabelle 1** aufgelistet.

### Ergebnisse

**Bild 3** macht deutlich, dass der Medianwert, der die Höhe der Deformationen aufgrund von Scher- und Dehnkräften repräsentiert, mit zunehmender Länge und Gangzahl ansteigt. Außerdem hat die



**Bild 4.** Interquartilsabstand: Gleichmäßigkeit der Verteilung von Deformationen in Abhängigkeit von der Länge, der Scherspalthöhe und der Gangzahl (Quelle: IKT)

Höhe des Scherspalt einen wesentlichen Einfluss auf den Medianwert. Ein kleiner Spalt führt zu höheren Scher- und Dehngeschwindigkeiten und begünstigt so die dispersive Mischwirkung des Wendelscherteils. Auch wenn dieser Zusammenhang im Allgemeinen zwar bekannt ist, ermöglicht diese Methode jedoch eine quantitative Bewertung von Scher- und Mischteilen und somit einen reproduzierbaren Vergleich.

In der Praxis wird die zur Verfügung stehende Länge des Scherteils häufig vorgegeben. In diesem Berechnungsbeispiel würde bei einer Scherteillänge von 120 mm der höchste Medianwert bei einer Scherspalthöhe von 1 mm und einer

Gangzahl von 3 erreicht. Allerdings ist hierbei die Homogenität noch nicht berücksichtigt. Betrachtet man nun den Interquartilsabstand (**Bild 4**), so ist zu erkennen, dass eine gleichmäßige Verteilung der Deformationen dagegen mit einem kurzen Scherteil und einem hohen Scherspalt erzielt wird. Auch mit zunehmender Anzahl an Gängen ist eher ein inhomogenes Mischergebnis zu erwarten, da der Interquartilsabstand größer wird.

### Fazit

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die neuartige Simulationsmethode zur Auslegung von Scher- und Mischteilen eignet.

Außerdem verdeutlichen die Ergebnisse, dass die angestrebten Zielkriterien teilweise gegeneinander wirken können. Beispielsweise bewirkt ein niedriger Scherspalt zwar eine hohe Deformation für einige Tracer-Partikel, aber viele erfahren gleichzeitig eher geringe Deformationen. Dies führt insgesamt zu einer breiteren Verteilung und macht deutlich, dass für eine optimale Auslegung von Scher- und Mischteilen dreidimensionale Simulationsmethoden und damit detaillierte Kenntnisse über die Mischprozesse unerlässlich sind. ■

## Die Autoren

**Dipl.-Ing. Oguz Celik** ist seit 2013 wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Verarbeitungstechnik am Institut für Kunststofftechnik der Universität Stuttgart; [Oguz.Celik@ikt.uni-stuttgart.de](mailto:Oguz.Celik@ikt.uni-stuttgart.de)

**Dipl.-Ing. Thomas Erb** ist seit 2012 Oberingenieur am IKT der Universität Stuttgart.

**Prof. Dr.-Ing. Christian Bonten** ist Leiter des IKT der Universität Stuttgart.

## Service

### Literatur & Digitalversion

- Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/3979470](http://www.kunststoffe.de/3979470)