



Florian Brüning, M.Sc.

Partikelsimulation zum Förderverhalten von Granulat in Nutbuchsenextrudern

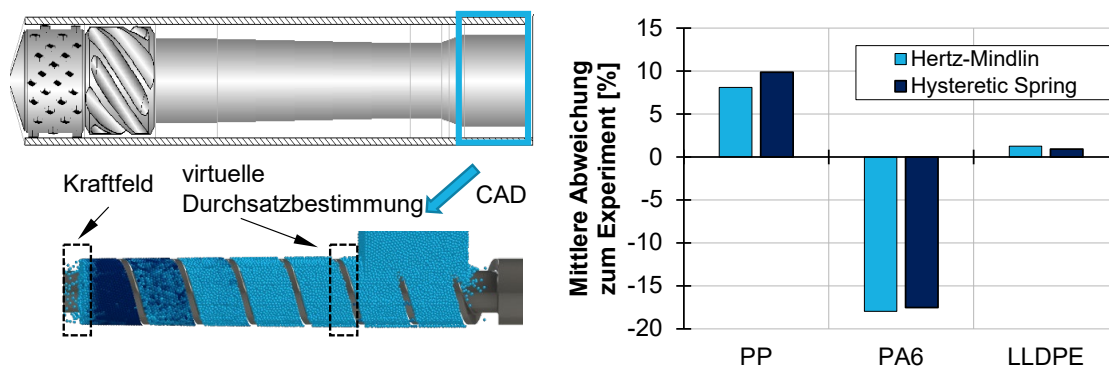
Die Einschneckenextrusion ist mengenbezogen eines der wichtigsten Verarbeitungsverfahren für thermoplastische Kunststoffe. Für einen wirtschaftlichen Betrieb der Extrusionslinie ist eine werkstoff- und verarbeitungsgerechte Auslegung der Schneckengeometrie von entscheidender Bedeutung. Bei Extrudern mit genutetem Einzug ist die Auslegung der Einzugszone besonders relevant, da diese den Durchsatz der gesamten Anlage bestimmt.

Um den Durchsatz eines Nutbuchsenextruders ohne experimentelle Untersuchungen vorhersagen zu können, existieren verschiedene Berechnungsmodelle für die Feststoffförderung. In diesen werden jeweils vereinfachende Annahmen getroffen, um die allgemeinen Erhaltungssätze analytisch geschlossen lösen zu können. Dadurch ergeben sich zwar einerseits kurze Berechnungszeiten, andererseits sind je nach getroffenen Annahmen Ungenauigkeiten unvermeidlich. Eine typische Vereinfachung ist z. B. die Annahme einer Blockströmung im Schneckenkanal der Einzugszone, um an diesem Feststoffblock ein Kräfte- und Momentengleichgewicht aufstellen zu können. Nur dadurch ist es möglich, einen sogenannten Förderwinkel zu berechnen, welcher die Strömungsrichtung des Feststoffblocks charakterisiert. Dieser Förderwinkel ist eine wichtige Kenngröße zur Beschreibung der Durchsatzleistung der Feststoffförderzone. Auch wenn diese Modellvorstellung bis heute üblich ist, haben Untersuchungen gezeigt, dass es schon bei geringen Drehzahlen zu Relativbewegungen im Feststoffbett kommt.

Daher wurden in diesem Forschungsprojekt die Feststofffördervorgänge im Nutbuchsenextruder unter Einsatz numerischer Simulationen analysiert, mit bestehenden Ansätzen verglichen und neue Berechnungsvorschriften erarbeitet. Die dazu eingesetzte Diskrete Elemente Methode (DEM) wurde am KTP bereits erfolgreich für die Simulation von Einzugszonen von Glattrohretrudern eingesetzt. Ein wesentlicher Vorteil der DEM gegenüber analytischen Modellen ist, dass kein a-priori-Wissen über die Bewegung des Feststoffbetts erforderlich ist. Ein Nachteil ist, dass die Qualität der Berechnungsergebnisse in besonderem Maße von den verwendeten Kontaktmodellen, welche das Kraft-Weg-Verschiebungsverhalten bei der Kollision von Partikeln beschreiben, und den darin gewählten Parametern abhängt.

Zunächst wurden die benötigten Materialparameter an drei Kunststoffen (LLDPE, PA6, PP) ermittelt und in zwei verschiedene Kontaktmodelle eingesetzt. Anhand ausgewählter Simulationen, in denen sowohl das Kompressions- als auch das Feststoffförderverhalten

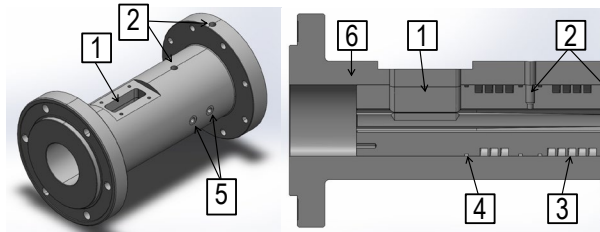
betrachtet wurde, erfolgte eine Bewertung der Kontaktmodelle. Für die Simulationen wurde die kommerzielle Software EDEM der Firma DEM Solution eingesetzt. Die Schneckengeometrie der betrachteten Einzugszone ist in der folgenden Abbildung (links) dargestellt. Für die numerische Simulation wurde die Einzugszone eines Nutbuchsentruders in CAD konstruiert und in die Simulationsumgebung importiert. Anschließend konnte mit einem Kraftfeld ein definierter Gegendruck aufgebracht und der Durchsatz virtuell bestimmt werden. Zur Bewertung wurde die durchschnittliche prozentuale Abweichung des Durchsatzes zwischen Simulation und Experiment je Material herangezogen. Das Ergebnis ist rechts dargestellt. Generell ist festzuhalten, dass die Übereinstimmung zwischen Simulation und Experiment gut ist und sich keine klare Tendenz erkennen lässt, welches der Kontaktmodelle aus physikalischer Sicht sinnvoller ist. Da die Simulationen mit dem Hertz-Mindlin jedoch deutlich stabiler rechnen und deswegen ein größerer numerischer Zeitschritt gewählt werden kann, wurde im weiteren Verlauf des Forschungsvorhabens eben dieses Kontaktmodell eingesetzt.



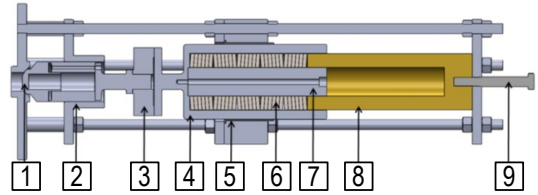
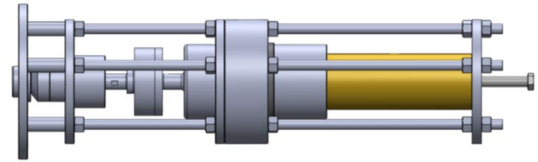
Links: Schematische Darstellung der Simulationsumgebung sowie der Position des Kraftfeldes und des Ortes der virtuellen Durchsatzbestimmung. Rechts: Mittlere prozentuale Abweichung zwischen simulativ und experimentell ermittelten Durchsätzen.

In weiteren Simulationen wurden mit Hilfe eines zentral zusammengesetzten Versuchsplans (Central Composite Design, CCD) insgesamt 8 geometrische, verfahrenstechnische sowie materialspezifische Einflussgrößen variiert. Es ist somit eine umfangreiche Gegenüberstellung der Ergebnisse der numerischen Simulationen mit denen konventioneller Berechnungsmethoden möglich. Dabei wurde deutlich, dass die Massedurchsätze aus den numerischen Simulationen grundsätzlich gut mit denen der analytischen Berechnungsmethoden übereinstimmen. Bei bestimmten Kombinationen von Einflussfaktoren kommt es jedoch zu größeren Abweichungen. Beispielsweise zeigte sich, dass die Blockströmung im Schneckenkanal nicht immer aufrechterhalten werden kann. Ist dies der Fall, überschätzt die analytische Berechnung den Förderwinkel und somit auch den Massedurchsatz. Eine Anpassung der konventionellen Berechnungsmethoden mit regressionsanalytischen Ansätzen konnte auf Basis des Versuchsplans durchgeführt werden.

Zur Validierung wurde ein Prüfstand entwickelt, der die Feststoffförderung ohne Anschmelzen des Kunststoffes bei verschiedenen Drücken experimentell untersuchbar macht. Für die Aufbringung des Gegendrucks wird eine Gegendruckvorrichtung verwendet, die der Feststoffförderzone über einen vorgespannten Konus eine einstellbare Kraft entgegensetzt. Die wesentlichen Komponenten des Prüfstands sind in der folgenden Abbildung dargestellt.



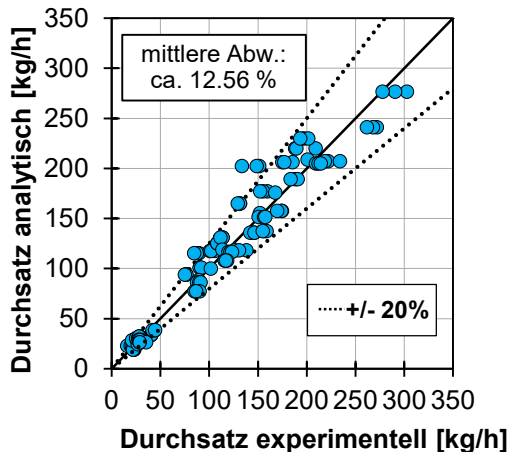
- (1) Einfüllöffnung
- (2) Bohrungen für Druckaufnehmer
- (3) Kühlkanal
- (4) Nuten O-Ringe
- (5) Kühlwasseranschlüsse
- (6) Gehäuse



- (1) Druckkonus
- (2) Axiallager
- (3) Kraftmessdose
- (4) Federaufnahme
- (5) Gleitlager
- (6) Tellerfeder
- (7) Dorn
- (8) Messingbuchse
- (9) Einstellschraube

Links: Isometrische und Schnittansicht des Einfüllgehäuses mitsamt Nutbuchse. Rechts: Seiten- und Schnittansicht der Gegendruckvorrichtung.

In der folgenden Abbildung ist eine Gegenüberstellung der experimentell ermittelten Durchsätze mit den berechneten Durchsätzen der verbesserten analytischen Modellierung dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass bei einer mittleren Abweichung von 12,56 % eine gute Übereinstimmung zwischen den Experimenten und der analytischen Berechnung besteht.



Nennendurchmesser: 30 mm

Schneckendrehzahl: 70 U/min, 285 U/min und 500 U/min

Gegendruck: 0 bar, 110 bar und 220 bar

Schnecke 1: $t_e=1 D$; $h_e=5,5$ mm

Schnecke 2: $t_e=1,2 D$; $h_e=5,5$ mm

Schnecke 3: $t_e=1 D$; $h_e=7,5$ mm

(t_e : Gangsteigung, h_e : Gangtiefe)

Links: Isometrische und Schnittansicht des Einfüllgehäuses mitsamt Nutbuchse. Rechts: Seiten- und Schnittansicht der Gegendruckvorrichtung.

Danksagung

Dieses Forschungsvorhaben wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Forschungsprojektes SCHO 551/36-1 unterstützt und finanziert. Wir danken der DFG für ihre Unterstützung.