

# Schmelzekompression praxisnah berechnen

## Neue Untersuchung zu dieser wichtigen, oft unterschätzten Kenngröße im Spritzgießprozess

Sucht man im Internet detaillierte Informationen zum Thema „Kompression als Kenngröße beim Spritzgießen“, gibt es dazu nicht viele Treffer. Das liegt daran, dass der Kompression im Ablauf des Spritzprozesses meist zu wenig Bedeutung beigemessen wird. Das näherungsweise Auslesen der Kompression aus pvT-Diagrammen ist hingegen zu ungenau. Eine wissenschaftliche Studienarbeit nähert sich der Thematik nun systematisch an.

Die Kompression als prozessbeeinflussende Kennzahl zur Auslegung des Spritzgießwerkzeugs und Heißkanalsystems sowie in der Folge auch zur Bestimmung der optimalen Größe von Maschine und Spritzeinheit wird oft nicht genügend beachtet. Zur Absicherung und Kontrolle der getroffenen Entscheidungen in diesen Bereichen fehlen zudem verlässliche Berechnungsgrundlagen. Meist werden nicht einmal die für jeden Kunststoff spezifischen Kompressionswerte, die das Verhalten der Kunststoffe im Zusammenspiel von Druck (p), spezifischem Volumen (v) und Temperatur (T) beschreiben, aus den vorliegenden gängigen pvT-Diagrammen verwendet.

Die Kompression des Kunststoffs hat allerdings konkrete Auswirkungen auf die Auslegung der Spritzeinheit – vor allem bei Heißkanalsystemen mit großem Schmelzevolumen, bezogen auf das Formteilgewicht. Dies gilt zum Beispiel für Würfelwerkzeuge, aber auch beim Mikrospritzgießen. Die Größe der Spritzeinheit lässt sich bei der Auslegung allein durch die Berechnung des Schussgewichts nicht immer korrekt bestimmen. Näherungsweise lautet der Ansatz: Für kleinere Bauteile, also bei Werkzeugen mit Mehrfach-Kavitäten und großen Heißkanälen, muss die Spritzeinheit nach der Berechnung der Kompression meist größer gewählt werden.

Aktuell findet dagegen nur eine sehr pauschale Auslegung der Spritzeinheiten aufgrund von Erfahrungswerten statt. Wird die Kompression hingegen vor der

Spezifikation der Maschine berechnet, können Maschinen- und Spritzeinheitengröße exakter bestimmt werden, was letzten Endes auch wirtschaftliche Auswirkungen haben kann.

### Zusammenhang zwischen berechneter Kompression und Maschinenauslegung

Eine Bachelor-Thesis [1] widmet sich diesem Fragenkomplex im Detail. Da das Thema nicht nur die Maschinenhersteller, sondern auch die Werkzeughersteller beschäftigt, waren mit Arburg, Männer und Priamus drei Unternehmen (Tabelle 1) am Entstehen der Arbeit beteiligt. Um wissenschaftlich fundierte Ergebnisse erlangen zu können, mussten die wichtigsten Komponenten des Spritzgießprozesses – Spritzeinheit, Maschinendüse, Heißkanalsystem sowie die Kavitäten des Werk-

zeugs, in diesem Fall ein eigens dafür gebautes Probewerkzeug (Bild 1) – zusammen betrachtet werden. Die weitere Vorgehensweise kombinierte empirische und theoretische Aspekte.

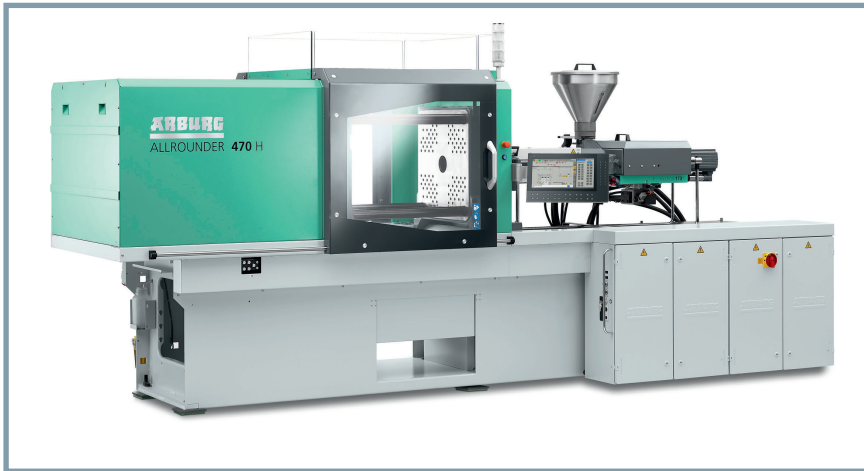
Um herauszufinden, welche Auswirkungen die Berechnung der Schmelzekompression auf die physische Auslegung der Maschinenkomponenten hat, wurden Versuche zur praktischen Ermittlung der Kompression in der Kunststoffschmelze durchgeführt und die Ergebnisse mit den errechneten Werten dieser Größe verglichen. Mit anderen Worten: Muss diesen Ergebnissen folgend die Spritzeinheit anders dimensioniert werden, als wenn sie bei der Auslegung allein über die Summe der Formteilgewichte berechnet wurde?

Im Rahmen dieser Arbeit wurden drei verschiedene Ansätze zur pvT-Berechnung



**Bild 1.** Untersuchungen zur Schmelzekompression dienen als Grundlage für eine fundierte Auslegung von Heißkanal, Spritzeinheit und Maschinengröße. Hier das verwendete Versuchswerkzeug

© Arburg



**Bild 2.** Hybride Spritzgießmaschine Allrounder 470 H © Arburg

einzelner Kunststoffe betrachtet (siehe Infokasten). Diese bringen verschiedene Koeffizienten in die Berechnung der Kompression ein. Dazu wurde ein Tool entwickelt, das anhand der pvT-Ansätze die Kompression unterschiedlicher Kunststoffe in Abhängigkeit von Temperatur, Druck und Volumen aus der konkreten Anwendung errechnet und damit das Gesamtergebn weitaus exakter werden ließ. In das Tool sind alle drei Ansätze implementiert. Da jedoch für jedes Material nur die Koeffizienten von einem pvT-Ansatz hinterlegt sind, fließt in die Berechnung der Kompression auch immer nur ein Ansatz ein.

### Berechnungsgrundlagen und Versuchsreihen

Die Versuchsreihen zur Festlegung der Kompression wurden auf einer hybriden Spritzgießmaschine (Typ: Allrounder 470H; Hersteller: Arburg) mit 1000 kN Schließkraft, lage geregelter Schnecke, Hydraulikspeicher und servoelektrischer Dosierfunktion gefahren (Bild 2). Hinzu kam ein Achtfach-Versuchswerkzeug für Prüfstäbe (Polar-Form Werkzeugbau GmbH, Lahr) mit einem Heißkanalsystem von Männer (Bild 1). Hier bestand die Möglichkeit, den Heißkanal zwischen einem Achtfach- und einen Vierfach-Verteiler umzurüsten, um verschiedene Prozesse abbilden zu kön-

nen. Als Materialien kamen verschiedene amorphe ebenso wie teilkristalline Thermoplaste zum Einsatz.

Um die Kompression bestimmen zu können, werden unter anderem die genauen Druck- und Temperaturverhältnisse der Kunststoffschmelze benötigt. Diese Parameter wurden an unterschiedlichen Positionen der Prozesskette, von der Spritzeinheit bis ins Spritzgießwerkzeug, gemessen. Hierfür wurden insgesamt 29 Druck- und Temperatursensoren verwendet, davon waren mehrere Drucksensoren im Heißkanalsystem verbaut.

Zur sensorischen Überwachung des Prozesses und zur Prozessdatenerfassung diente das System Fillcontrol von Priamus. Es wurden praktische Versuche zur Bestimmung der Kompression der Schmelze mit unterschiedlichen Plastifizierkomponenten umgesetzt. Die Massetemperaturen wurden je nach Materialdatenblatt angepasst.

### Ergebnisse aus dem Vergleich zwischen Theorie und Praxis

Die Versuche und Berechnungen haben die Abhängigkeit zwischen Kompression und Volumen bestätigt. Es gilt: Je höher der Druck, die Temperatur und das Volumen, desto höher die Kompression. Der Vergleich zwischen der praktisch er- »

## pvT-Ansätze

Um das spezifische Volumen bei einer bestimmten Temperatur und einem bestimmten Druck berechnen zu können, gibt es unterschiedliche pvT-Ansätze. Diese bringen verschiedene Koeffizienten in die Berechnung ein:

- Renner-Ansatz: 4 Koeffizienten für amorphes und 7 Koeffizienten für teilkristallines Material [2]
- IKV-Ansatz: 13 Koeffizienten [2]
- 2-Domänen-Tait-Ansatz: 13 Koeffizienten [2]

Der IKV- und der 2-Domänen-Tait-Ansatz betrachten den Feststoff- und Schmelzbereich mit jeweils eigenen Koeffizienten. Somit ist nicht gewährleistet, dass die daraus resultierenden Kurven sauber ineinander übergehen. Der Renner-Ansatz hingegen sorgt aufgrund seiner Formulierung dafür, dass am Übergangspunkt von Schmelze zu Feststoff kein Sprung auftreten kann. Außerdem ist der Renner-Ansatz auch für faserverstärkte Kunststoffe anwendbar. Er ist nur im Simulationsprogramm Cadmould (Anbieter: simcon kunststofftechnische Software GmbH, Würselen) implementiert. Rohstoffhersteller stellen am häufigsten 2-Domänen-Tait-Koeffizienten bereit.

## Die Autorin

**B. Eng. Inna Meder** arbeitet in der anwendungstechnischen Beratung der Arburg GmbH + Co KG, Loßburg.

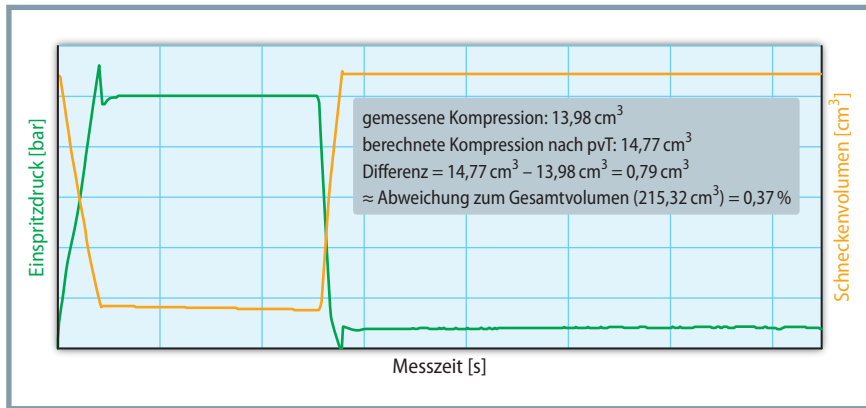
## Service

### Literatur & Digitalversion

- » Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/2020-06](http://www.kunststoffe.de/2020-06)

Unternehmen	Projektanteil
Arburg GmbH + Co KG, Loßburg	Spritzgießmaschinenhersteller
Otto Männer GmbH, Bahlingen	Werkzeug- und Heißkanalhersteller
Priamus System Technologies, branch of Barnes Group Suisse Industries LLC, Schaffhausen/Schweiz	Systeme zur Qualitätssicherung im Spritzgießprozess

**Tabelle 1.** An dem Projekt beteiligte Unternehmen Quelle: I. Meder



**Bild 3.** Einflüsse des pVT-Diagramms: Der Vergleich der praktisch ermittelten mit der theoretischen Kompression von PS ergibt eine Abweichung von 0,37% Quelle: Arburg; Grafik: © Hanser

mittelten und der berechneten Kompression ergab eine Abweichung der Werte von unter einem Prozent, im Fall von Polystyrol (PS) konkret 0,37% (**Bild 3**). Die genauen Werte unterscheiden sich von Material zu Material geringfügig, grundsätzlich ist die Abweichung aber immer so gering.

Als Fazit lässt sich festhalten, dass eine Methodik zur Berechnung der Kompression bei der Auslegung von Spritzgussteilen, Mehrfach-Werkzeugen und Heißkanälen und damit auch bei der Auslegung von Plastifizierkomponenten und Maschinentypen so effizient hilft, dass hier die Genauigkeit für eine wirtschaftliche

Auslegung und Leistungsauswahl steigt. Das heißt letztlich, dass diese Formulierung sich bestätigen lässt: Es muss tatsächlich öfter ein größeres Volumen berücksichtigt werden als jenes, das bei der Auslegung allein auf Basis des Schussgewichts berechnet wird.

### **Konkrete Hilfe durch anwendungstechnische Beratung**

Obwohl die bisherigen Erfahrungen durch die Auslegungsmethode bestätigt wurden, hat es bereits eine konkrete Auswirkung der wissenschaftlichen Bestimmung der Schmelzekompression in der anwendungstechnischen Beratung bei Arburg gegeben: Sind Formteil-, Werkzeug- und Heißkanalauslegung des Kunden bekannt, wird bei der Maschinenauslegung die Kompression mit betrachtet. Damit kann vor dem Kauf die Maschinen-Hardware noch genauer auf den individuellen Prozess abgestimmt und auf diese Weise hoch wirtschaftlich investiert und produziert werden. ■

## Engel präsentiert neue e-cap Generation

### Bestmarken in der Verschlussproduktion

Die neue e-cap stellt auch bei Zykluszeiten von unter 2 s eine hohe Präzision und Wiederholgenauigkeit sicher  
© Engel



Bis zur Vorstellung der vollelektrischen Spritzgießmaschine e-cap auf der K 2010 waren Standard für die Herstellung von Getränkeverschlüssen Maschinen mit hydraulischem Antrieb und Hydrospeicher für die Einspritzbewegung. Nun präsentiert die **Engel Austria GmbH**, Schwertberg/Österreich, die neue Generation dieser Baureihe. Bis heute ist die e-cap nach Angaben des Herstellers die energieeffizienteste Maschine für die Herstellung von Flaschenverschlüssen im Markt und zugleich die einzige auf die Anforderungen der „Caps and Closures“-Industrie zugeschnittene Hochleistungsmaschine, die auch im hohen Schließkraftbereich bis 4200 kN vollelektrisch arbeitet.

„Seit 2010 haben sich die Anforderungen an Getränkeverschlüsse stark verändert“, erklärt Friedrich Mairhofer, Produktmanager bei Engel, weshalb die kontinuierlichen Weiterentwicklungen der e-cap jetzt in einer neuen Maschinengeneration aufgehen. „Für stille Wasser werden heute Verschlüsse mit einem Gewicht von deutlich unter einem Gramm produziert.“ Entsprechend hätten die Kühl- und damit die Zykluszeiten immer weiter

abgenommen. „Heute müssen Verschlussmaschinen im 2-Sekunden-Takt und schneller produzieren können“, so Mairhofer. Der verstärkte Rahmen und die verstärkten Werkzeugaufspannplatten der neuen Maschine stellen auch bei dynamischen Maschinenbewegungen eine hohe Abformgenauigkeit sicher.

Das Auswerfen findet parallel zur Werkzeugöffnung statt. Neu ist, dass die Auswerfer bei Bedarf Verstärkung durch einen zuschaltbaren hydraulischen Booster erhalten. Damit stellt Engel sicher, dass sowohl in der laufenden Produktion als auch beim Anfahren nach einer Produktionsunterbrechung die Maschine mit der bestmöglichen Effizienz arbeitet. Die e-cap wird mit zwei unterschiedlichen Antriebstechnologien für die Auswerfer angeboten. Im Standard arbeitet sie mit hydraulischen Auswerfern. Optional sind servoelektrische Antriebe verfügbar, die rund 10% weniger Energie benötigen.

Die Plastifiziereinheit wurde komplett neu aufgesetzt, denn auch die Eigenschaften der zu verarbeitenden Materialien haben sich, den niedrigeren Verschlussgewichten entsprechend, verändert. So liegt für CSD-Verschlüsse der Melt-Flow-Index (MFI) heutiger PE-HD-Typen zwischen 0,8 und 1,4 g/10 min. Bei sehr kurzen Zykluszeiten sind besonders hohe Plastifizierleistungen gefordert. Engel hat das Drehmoment des Dosierantriebs entsprechend erhöht und gezielt für die Verschlussherstellung sowohl eine neue Plastifizierschnecke als auch eine neue hochverschleißbeständige Ring-Rückström Sperre entwickelt.

Zur Langfassung dieses Beitrags:

[www.kunststoffe.de/10496488](http://www.kunststoffe.de/10496488)