

Ole Johansen,  
Jan Haudrum,  
Jørgen Knudsen

# Experimentelle Methode zur Ermittlung der notwendigen Schließkraft

Bei Stichprobenuntersuchungen in der Industrie stellt sich heraus, daß Spritzgießproduktionen mit größerer Schließkraft durchgeführt werden als unbedingt erforderlich; die Schließkraft ist teilweise bis um 50% zu hoch. Wenn die notwendige Schließkraft einer jeden Spritzgießproduktion (oder deren Mindestschließkraftbedarf) ermittelt werden könnte, wäre es möglich, kleinere Maschinen zu verwenden, was für die Nutzung des vorhandenen Maschinenparks eine größere Flexibilität bedeuten würde. Im Hinblick auf die Spezifikation neuer Maschinen wäre es auch von großem Wert, wenn für jedes einzelne Werkzeug der Schließkraftbedarf bekannt wäre.

Heute gibt es eine Reihe verschiedener rechnerunterstützter Simulationsprogramme, in denen mittels eines berechneten Massedruckes die notwendige Schließkraft im voraus berechnet werden kann. Derartige Programme werden in einem Bericht vom IKV, Aachen [1], erwähnt, der sich mit der Maschinenwahl für eine bestimmte Produktion beschäftigt. Die Programme berechnen die Schließkraft auf der Grundlage eines im voraus berechneten Einspritzdruckes und errechnen deshalb häufig zu hohe Werte. Der Schließkraftbedarf sollte statt dessen anhand des in der Werkzeughöhle wirkenden, maximalen Druckes berechnet werden.

Es wäre indessen auch wünschenswert, sichere Kenntnisse über den tatsächlichen Schließkraftbedarf nach Fertigstellung des Werkzeugs zu erhalten. Im oben erwähnten Bericht wird festgestellt, daß ein solches Verfahren zur Feststellung der tatsächlichen Ausnutzung der Schließkraft einer gewählten Maschine zur Zeit noch fehlt.

Heute wird nur selten der Versuch gemacht, beim ersten Einfahren von Spritzgießwerkzeugen den minimalen Schließkraftbedarf zu ermitteln. Wenn es aber getan wird, dann besteht das Verfahren oft darin, die eingestellte Schließkraft soweit

zu reduzieren, bis eine Überspritzung zu beobachten ist. Die Überspritzung ist jedoch kein guter Indikator für die notwendige Schließkraft, da das Werkzeug bereits vor dem

zeug für den Einbau von Druckaufnehmern vorbereitet sein. Der Einbau von Druckaufnehmern ist jedoch mit einigen Schwierigkeiten verbunden, denn die Platzierung muß

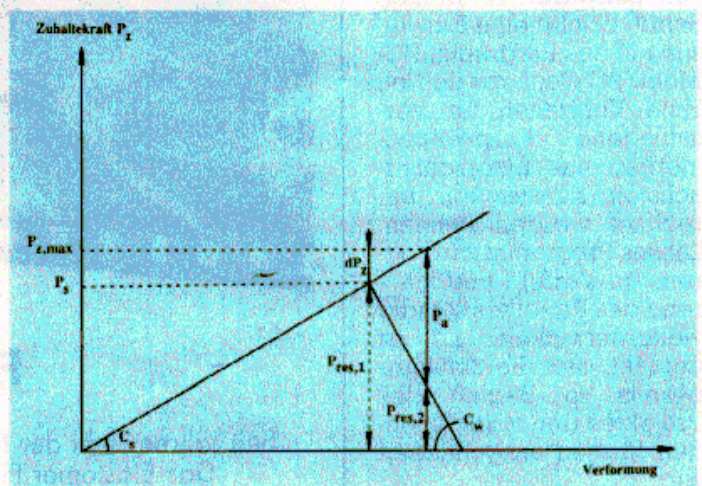


Bild 1 Nach dem Schließen entspricht die Kraft in der Schließfläche  $P_{res,1}$  der Zuhaltkraft  $P_z$ . Beim Einspritzen erhöht sich die Zuhaltkraft  $P_z$  durch die Auftreibkraft  $P_a$ , die gleichzeitig die resultierende Kraft in der Schließfläche zu  $P_{res}$  reduziert.  $C_s$  stellt die Steifigkeit der Schließeinheit dar, und  $C_w$  ist die Werkzeugsteifigkeit

Überspritzen in der Schließfläche atmet. Wenn das Werkzeug atmet, ist der Spalt für den Durchbruch der Schmelze zwar nicht groß genug, die Produktion wird aber unter diesen Bedingungen instabil sein. Da das Überspritzen darüber hinaus das Werkzeug beschädigen kann, ist dieses Verfahren nicht zu empfehlen.

Eine genauere Methode besteht darin, den Druck in der Werkzeughöhle zu messen. Bei der Anwendung dieses Verfahrens muß jedes einzelne Werk-

an strategisch richtiger Stelle erfolgen, wobei sie gleichzeitig durch Kühlkanäle, Auswerfer u. a. m. begrenzt ist. Ferner werden in der Kavität eingebaute Meßstifte an den Spritzgüßteilen Druckstellen hinterlassen.

Als eine Alternative zur Anwendung obiger Verfahren wurde in der Dänischen Technischen Hochschule (DtH), Abteilung Plasttechnologie, ein neues Verfahren zur experimentellen Feststellung der notwendigen Schließkraft für eine beliebige Spritz-

Mitteilung aus der Abteilung  
Plasttechnologie der Dänischen  
Technischen Hochschule,  
Lyngby

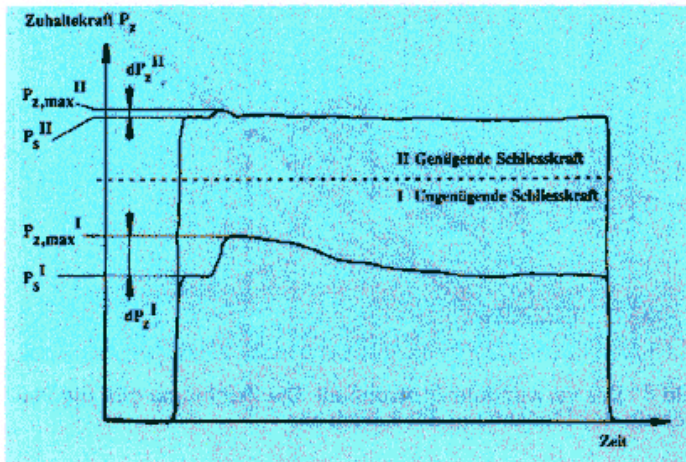


Bild 2 Die Variation der Zuhaltkraft während des Zyklus bei genügender (II) bzw. ungenügender (I) Schließkraft

gießproduktion [2] entwickelt. Das Verfahren baut auf der Registrierung der Zuhaltkraft (Säulendehnung) während eines Zyklus auf. Im folgenden wird die diesem Verfahren zugrundeliegende Theorie dargestellt.

### Theoretische Grundlage

Nach dem Schließen des Werkzeuges, vor dem Einspritzen, entsprechen sowohl die Zuhaltkraft  $P_z$  als die aus der Schließfläche  $P_{res,1}$  resultierende Kraft der Schließkraft  $P_s$ , (Bild 1). Es gilt demnach folgendes:

$$P_z = P_{res,1} = P_s$$

Wenn das Werkzeug beim Spritzen ganz gefüllt ist, ist die durch den Masseindruck in der Werkzeughöhle verursachte Auftreibkraft  $P_a$  wirksam. Die Auftreibkraft  $P_a$  bewirkt, daß  $P_z$  um den Ausschlag  $dP_z$  auf den Wert  $P_{z,max}$  ansteigt. Die Auftreibkraft  $P_a$  verursacht gleichzeitig eine Reduktion der Kraft in der Schließfläche  $P_{res}$  auf den Wert  $P_{res,2}$ .

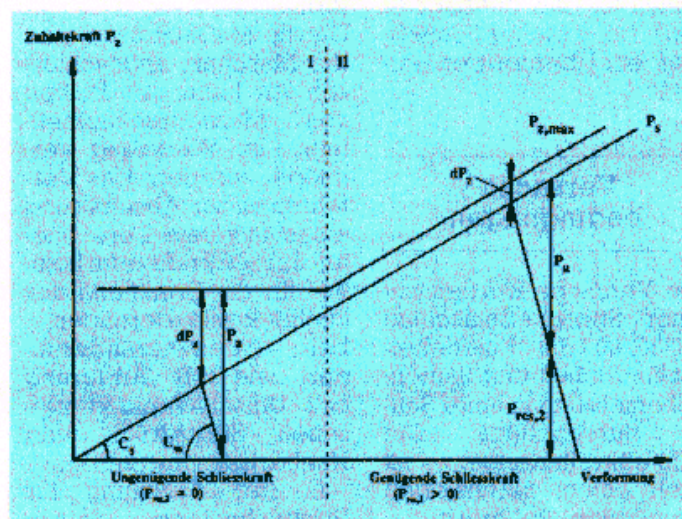
Es gilt nunmehr folgender Zusammenhang:

$$P_{z,max} = P_a + P_{res,2}$$

In Bild 2 wird die Variation der Zuhaltkraft während des Zyklus in zwei verschiedenen Situationen dargestellt: (I) bei ungenügender Schließkraft und (II) bei genügender Schließkraft. So lange die Schließkraft ausreicht ( $P_{res,2} > 0$ ), bleibt der Ausschlag  $dP_z$  konstant und die Kurve der  $P_{z,max}$  verläuft parallel zur Kurve  $P_s$ , (Bild 3).

Ist die Schließkraft jedoch ungenügend ( $P_{res,2} = 0$ ), dann schwankt der  $dP_{z,max}$  entsprechend der Schließkraft, und vorausgesetzt, daß  $P_a$  konstant bleibt, wird die Kurve der  $P_{z,max}$  waagrecht verlaufen. Die Kurve erhält beim Übergang von

Bild 3 Der Zusammenhang zwischen Zuhaltkraft und Verformung. In den Bereichen II und I ist die Zuhaltkraft genügend bzw. ungenügend. Der Kurvenknick zeigt die notwendige Schließkraft an



der genügenden Schließkraft auf die ungenügende Schließkraft einen Knick, und dieser Knickpunkt gibt die notwendige Schließkraft an.

entspricht, dann die Theorie verifiziert werden, indem  $P_a$  mit der Plazierung des Knickpunktes verglichen wird. Wenn der Knickpunkt mit  $P_a$  zusammen-

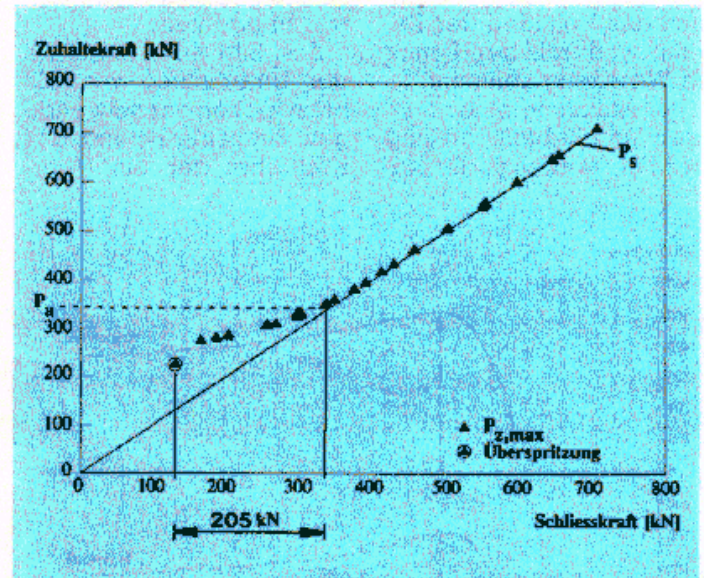


Bild 4 Praktische Messungen der Zuhaltkraft  $P_{z,max}$  als Funktion der eingestellten Kraft  $P_s$  ( $P_a$  ist proportional zur Säulendehnung). Die berechnete Auftreibkraft  $P_a$  fällt mit dem Knickpunkt der Kurve zusammen, der demzufolge als Indikator der notwendigen Schließkraft dienen kann

### Überprüfen der Theorie

Da unterstellt wird, daß die notwendige Schließkraft der Auftreibkraft  $P_a$

menfällt, ist der Knickpunkt Ausdruck der notwendigen Schließkraft.

Um die Richtigkeit der Theorie nachweisen zu können, wird für verschiedene Werte der eingestellten Schließkraft  $P_s$  der maximale Wert der Zuhaltkraft  $P_{z,max}$  registriert (Bild 4), wobei gleichzeitig der Druck an zwei Stellen im Werkzeug gemessen wird (Bild 5). Die Messungen werden in einem Werkzeug für das Formgußteil vorgenommen (Bild 6), aus dem die Plazierung des Meßstiftes ersichtlich ist.

Die durch die Meßpunkte der  $P_{z,max}$  (Bild 4) gezeichnete Kurve hat einen parallelen Verlauf zu der rechts vom Knickpunkt liegenden  $P_s$ . Links des Knickpunktes weicht die Kurve von der Theorie ab, denn sie hat keinen waagerechten Verlauf.

Das ist darauf zurückzuführen, daß der maximale Druckwert nicht wie angenommen von der Schließkraft unabhängig ist. Bei den Schließkräften links des Knickpunktes erhöht sich das Volumen der Kavität, wodurch der Druck im Werkzeug abnimmt.

Bei Annahme eines linearen Druckabfalls entlang des Fließweges in der Ka-

Messen des Werkzeugdruckes durch die Registrierung der Zuhaltkraft zu ersetzen und auf diesem Wege die notwendige Schließkraft für eine bestimmte Spritzgießproduktion zu ermitteln.

Aus Bild 4 ist ebenfalls der Unterschied von 205 kN zwischen der notwendigen Schließkraft und der Kraft, bei der ein Über-

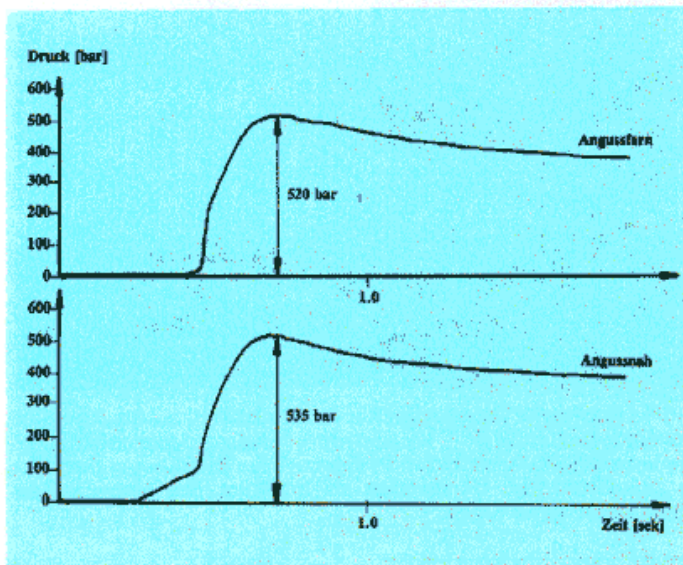


Bild 5 Der Druckverlauf an zwei Stellen im Werkzeug während des Zyklus. Die Auftreibkraft  $P_a$  wird anhand der maximalen Werte bestimmt

vität wird ein gemittelter Werkzeugdruck von 527 bar erreicht. Hiervon wird die Auftreibkraft  $P_a$  mit 338 kN berechnet. Die Unsicherheit dieses Ergebnisses beträgt insgesamt  $\pm 3$  kN. Da die notwendige Schließkraft durch die Auftreibkraft  $P_a$  bestimmt wird, erhält man demzufolge einen Schließkraftbedarf von 338 kN.

Vergleicht man dieses Ergebnis mit der in Bild 4 dargestellten Kurve, so ist hieraus ersichtlich, daß zwischen dem Knickpunkt der Kurve und der notwendigen Schließkraft, bestimmt anhand von Messungen des Masse- druckes, Übereinstimmung besteht. Es ist demnach möglich, das

spritzen vorkommt, ersichtlich. Dadurch wird hervorgehoben, daß es nicht möglich ist, die für ein Werkzeug notwendige Schließkraft dadurch zu ermitteln, daß beobachtet wird, bei welcher Schließkraft ein Überspritzen entsteht.

### Versuchsbedingungen

Die Versuche wurden mit einer Spritzgießmaschine ES330/80 mit Kniehebelschließeinheit und Säulendehnmessung in einer Säule durchgeführt. Die Schließkraftanzeige ist nach einem zertifizierten Druckbügel kalibriert.

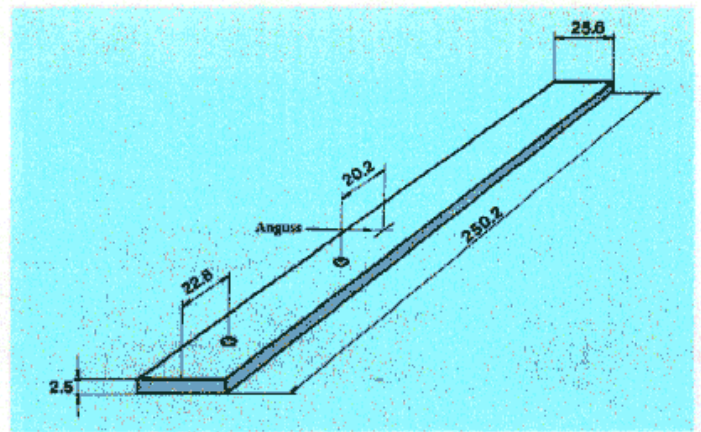


Bild 6 Das verwendete Spritzgußteil. Die Zeichnung gibt die Platzierung der Meßstifte in der Kavität an

Der Werkzeugdruck wurde mit einem Masse- druckaufnehmer zum Einbau in Spritzgießwerkzeugen gemessen. Die Druckaufnehmer sind nach einer bekannten Belastung kalibriert.

Die Anwendung dieses Verfahrens setzt voraus, daß die Maschine mit einem Zuhaltkraftmeßgerät ausgerüstet ist, so daß die maximale Zuhaltkraft während eines Zyklus registriert werden kann.

### Ergebnisse

Durch Anwendung der Säulendehnmessung als Ausdruck des gemittelten Werkzeugdruckes kann die notwendige Schließkraft für ein beliebiges Werkzeug experimentell ermittelt werden, unabhängig von der Formteilgeometrie, dem Material und den Prozeßparametern.

Da die Meßausrüstung an die Maschine angeschlossen ist, kann der Einbau von Masse- druckaufnehmern im Werkzeug vermieden werden. Das Verfahren ist zur Abschätzung eines im voraus berechneten Schließkraftbedarfs sowie für die Ermittlung der Schließkraftänderungen bei Parameteränderungen, wie z.B. Änderung des Umschaltpunkt zwischen Spritzdruck und Nachdruck, anwendbar.

In der Abteilung für Plasttechnologie wurde

zur Ermittlung des Knickpunktes der Kurve für den maximalen Wert der Zuhaltkraft ein Algorithmus erstellt. Dieser Algorithmus wird in einem PC realisiert, vom dem über ein Interface mit dem Steuer- schrank der Maschine die notwendige Schließkraft festgestellt wird. Es wird zur Zeit noch daran gearbeitet, das Programm mit einem höheren Grad an Genauigkeit zu verbessern, der gegenwärtig bei  $\pm 50$  kN liegt. Ferner wird beabsichtigt, das Prinzip in mehreren verschiedenen Produktionssituationen zu testen.

Als Perspektive soll eine feste Routine in der Ma- schinensteuerung geschaffen werden, so daß der Schließkraftbedarf automatisch beim Einfahren eines neuen Werkzeugs bestimmt werden kann.

### Literatur

- [1] Bourdon, K.: Rechnerunterstützte Auswahl von Spritzgießmaschinen, AIF-Forschungsvorhaben Nr. 6865, IKV Aachen, März 1989
  - [2] Haudrum, J., Knudsen, J.: Eksperimentel metode til fastlaeggelse af den nødvendige lukkekraft for en sprøjtestøbeproduktion. (Experimentelle Methode zur Ermittlung der notwendigen Schließkraft einer Spritzgießproduktion), Laboratoriet for Plastteknologi, DfH, Jan. 1990
- Sarholtz, R.: Spritzgießen IKV, Aachen, Carl Hanser Verlag, München, Wien 1979