

1

Das Spritzgießverfahren

Das Spritzgießverfahren ist eines der wesentlichen Produktionsverfahren zur Verarbeitung von Kunststoffen. Es ermöglicht die wirtschaftliche Herstellung geometrisch nahezu beliebig komplexer Formteile in hohen Stückzahlen.

Als Vorteile dieses Verfahrens sind zu nennen:

- ☐ der direkte Weg vom Rohstoff zum Fertigteil
- ☐ die allenfalls geringe Nacharbeit der Formteile
- ☐ die Vollautomatisierbarkeit
- ☐ die hohe Reproduzierbarkeit
- ☐ die geringen Stückkosten bei großen Stückzahlen
- ☐ die kurzen Zykluszeiten auch bei komplexer Bauteilgeometrie
- ☐ die Möglichkeit der Funktions- und Prozessintegration
- ☐ die Fertigung komplexer Produkte in integrierten Prozessen

Die Bandbreite der herstellbaren Formteile reicht von Mikrobauteilen bis zu großen Erdtanks mit Schussgewichten von 10^{-6} kg bis 10^2 kg. Wesentliche Einschränkungen bestehen hinsichtlich der Wanddicke, die einige Millimeter in der Regel nicht übersteigen sollte, sowie der Gestalt des Formteils, die die Entformbarkeit aus dem Werkzeug voraussetzt [1.1].

Als zentrales Element des Spritzgießprozesses erfüllt das Spritzgießwerkzeug wesentliche technologische Aufgaben. Zu diesen gehört die Aufnahme und Verteilung der Schmelze, die Ausformung des Formteils, die Erstarrung der Schmelze und das Entformen des Formteils. Das Spritzgießwerkzeug besteht als Fertigungseinheit aus unterschiedlichen Funktionskomplexen, die diese Aufgaben erfüllen. Die prozessorientierte Auslegung der einzelnen Funktionskomplexe ermöglicht die Integration weiterer Funktionen in das Spritzgießwerkzeug. Aufgrund der Komplexität der Spritzgießwerkzeuge und der unterschiedlichen Anforderungen an das Werkzeug sowie die anwendungsbezogene Gestaltung der Funktionskomplexe sind Spritzgießwerkzeuge meist Unikate.

1.1 Ablauf des Spritzgießprozesses

Die Herstellung der Formteile erfolgt diskontinuierlich in Zyklen. Der Ablauf eines Zyklus ist schematisch in Bild 1.1 dargestellt.

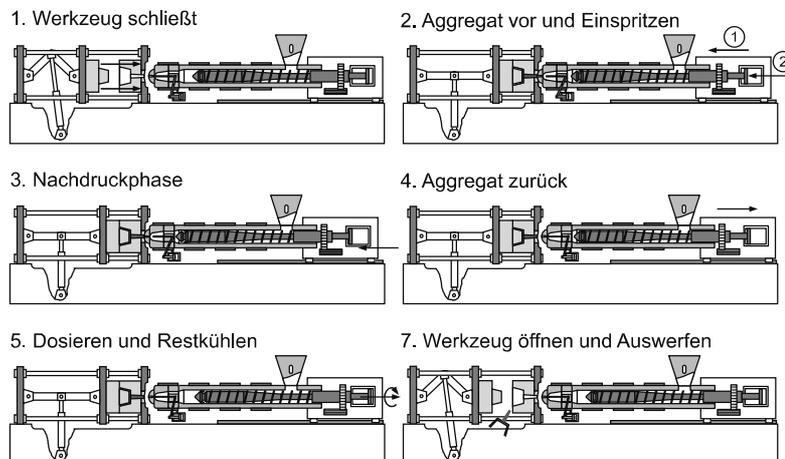


Bild 1.1 Verfahrensablauf beim Spritzgießen

Die Plastifiziereinheit besteht aus einem beheizten Massezylinder und einer innerhalb des Zylinders koaxial verschiebbaren und drehbaren Schnecke. Der in der Regel in Granulatform angelieferte Rohstoff wird in der Plastifiziereinheit durch Rotation der Schnecke aufgeschmolzen. Durch die Verschiebung der Schnecke entgegen der Plastifizierrichtung während der Plastifizierphase wird die erzeugte Schmelze vor die Schnecke in den Schneckenorraum gefördert und dort gespeichert. Die Schnecke wird gegen den als Staudruck bekannten Widerstand im Schneckenzyylinder zurückgedrückt.

Zu Beginn des Zyklus wird das Werkzeug durch die Betätigung der Schließeinheit geschlossen. Vor dem Einspritzvorgang wird die Einspritzdüse der Plastifiziereinheit an der Angussbuchse des Werkzeugs positioniert. Der Druck, mit dem die Düse gegen die Angussbuchse anliegt, muss so eingestellt werden, dass beim nachfolgenden Einspritzen der Schmelze die Verbindung dicht bleibt. Anschließend wird die dosierte Schmelze durch die Vorwärtsbewegung der Schnecke aus dem Plastifizieraggregat in die Höhlung des Werkzeugs, die Kavität, gedrückt [1.1].

Für die Füllung der Kavität wird aufgrund der hohen Schmelzeviskosität ein hoher Druck, um einige hundert bis 2 000 bar, benötigt. Dadurch entsteht in der Kavität ein hoher Werkzeuginnendruck. Die Schließeinheit muss entsprechend hohe Zuhaltekräfte aufbringen und das Werkzeug steif ausgeführt werden, um das Entweichen der Schmelze in die Trennebene aus der Kavität zu vermeiden.

Mit dem Eintritt der Kunststoffschmelze beginnt durch den Kontakt mit dem deutlich kälteren Werkzeug die Abkühlung und Erstarrung der Schmelze. Da das Volumen der Schmelze mit der Temperatur abnimmt, erfolgt nach der volumetrischen Füllung der Kavität in der Einspritzphase die Nachdruckphase. Dabei wird bis zur Erstarrung des Angusses weiter Kunststoffschmelze in die Kavität nachgedrückt, um die Schwindung des Kunststoffs auszugleichen. Danach wird die Einspritzdüse geschlossen und die Plastifiziereinheit zurückgefahren. Das Abheben der Düse vom Werkzeug dient der thermischen Trennung zwischen Werkzeug und Plastifiziereinheit, da diese auf sehr unterschiedliche Temperaturen temperiert werden müssen. Da der Plastifiziervorgang eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt, beginnt im Anschluss direkt die Aufdosierung des Werkstoffs für den nächsten Spritzgießzyklus, während das Formteil in der Kavität weiter abkühlt.

Wenn der Spritzling (Formteil) formstabil ist, wird das Werkzeug durch die Schließeinheit geöffnet und der Spritzling durch Auswerfer aus der Kavität geschoben [1.2]. Damit ist der Zyklus beendet und der nächste Zyklus kann unmittelbar erfolgen. Bild 1.1 zeigt wie sich die einzelnen Vorgänge zeitlich einordnen.

■ 1.2 Spritzgießen von Thermoplasten

Thermoplaste erweichen und schmelzen unter Wärmezufuhr, sodass sie nach Überschreiten der materialspezifischen Übergangstemperaturen um- und umgeformt werden können, bevor sie durch das Abkühlen wieder erstarren. Daher werden beim Spritzgießprozess von Thermoplasten die Plastifiziereinheit heiß (im Allgemeinen zwischen 220 °C und 300 °C) und die Werkzeuge kalt (im Allgemeinen 40 °C bis 120 °C) temperiert. In der Regel ist der Temperaturunterschied größer als 100 K. Die für das Spritzgießen entwickelten thermoplastischen Formmassen sind in der Schmelze relativ niedrigviskos, damit neben langen Fließwegen auch kurze Einspritzzeiten realisiert werden können und niedrigere Schließkräfte erforderlich sind. Neben der Aufnahme und Verteilung der Schmelze ist eine weitere wichtige Aufgabe des Spritzgießwerkzeugs die schnelle und gleichmäßige Wärmeabfuhr der eingebrachten Schmelze. Sowohl aus Gründen der Wirtschaftlichkeit als auch aufgrund der Qualität der Formteile ist eine sorgfältig ausgelegte Temperierung von erheblicher Bedeutung, um Fehler, wie z. B. Einfallstellen, Formteilverzug und Glanzunterschiede in der Oberfläche zu vermeiden (Kapitel 10). Die Wärmeverteilung innerhalb des Formteils beeinflusst die Eigenspannungen im Formteil und damit die Verzugsneigung des entformten Spritzlings immens. Das Kühlmittel – meist Wasser, solange die Werkzeugtemperaturen unter 100 °C liegen – umströmt in Temperierkanälen

die Kavität. Durch den Einsatz von Temperiergeräten wird das Kühlmittel im Temperierkreislauf mit einem möglichst geringen Temperaturunterschied im Umlauf gehalten, sodass Formteile reproduzierbar hergestellt werden können [1.3].

Nacharbeitsfreie Formteile können nur entstehen, wenn alle Fugen und die Trennebenen des Werkzeuges so dicht geschlossen bleiben, dass keine Schmelze eindringen und zur Gratbildung führen kann. Hierzu müssen alle Fugen auch unter dem vollen Spritzdruck unter einer gewissen Spaltweite bleiben, bis die Schmelze erstarrt ist. Jedoch ist zu beachten, dass zur vollständigen Füllung der Kavität und der Vermeidung von Brennern am Bauteil durch die Verdichtung der Luft in der Kavität eine gute Entlüftung gewährleistet werden muss. Die maximale Spaltweite variiert je nach verwendetem Kunststoff und beträgt üblicherweise 0,01 mm und 0,2 mm je nach Viskosität der Schmelze und Neigung zur Formbelegbildung.

Somit ergeben sich insbesondere bei größeren Formteilen und großen Spritzgießmaschinen besonders hohe Anforderungen an die Präzision und Steifigkeit der Werkzeuge sowie die maximale Zuhaltkraft der Schließeinheiten. Die Steifigkeit der Aufspannplatten ist maschinenseitig von ganz besonderer Wichtigkeit.

■ 1.3 Spritzgießen vernetzender Formmassen

Elastomere und Duroplaste erhalten erst unter Wärmezufuhr durch Vernetzung ihren endgültigen Aufbau. Da die Vernetzung erst in der Werkzeugkavität einsetzen darf, muss die Prozessführung entsprechend angepasst werden. Aus diesem Grund dürfen die Formmassen in der Plastifiziereinheit nur gerade so warm werden, dass eine zum Füllen der Kavität ausreichend niedrige Viskosität vorliegt. So wird verhindert, dass durch zu frühes Vernetzen der Prozessablauf nicht oder unvollständig bis zur Formteilmittbildung abläuft. Die Plastifiziereinheit wird daher meist unter 100 °C gehalten und die Erzeugung von Reibungswärme durch den Einsatz kompressionsloser Schnecken auf ein Minimum beschränkt.

Bei Eintritt der Formmasse in die Werkzeugkavität muss die Vernetzung aus wirtschaftlichen Gründen schnell erfolgen, sodass das Werkzeug auf einem hohen Temperaturniveau gehalten wird. Die Werkzeugtemperatur wird nach oben durch die Zersetzungstemperatur der Formmasse begrenzt und liegt zwischen 150 °C und 210 °C. Da die Viskosität der Formmassen mit steigender Temperatur abnimmt, jedoch mit dem Vernetzungsgrad steigt, ergibt sich durch die Überlagerung der genannten Effekte ein charakteristischer Viskositätsverlauf. Aufgrund der unterschiedlichen Material- und Verarbeitungseigenschaften ergeben sich für Elastomere und Duroplaste unterschiedliche Anforderungen an die Werkzeugtechnik [1.4] [1.5] [1.6].

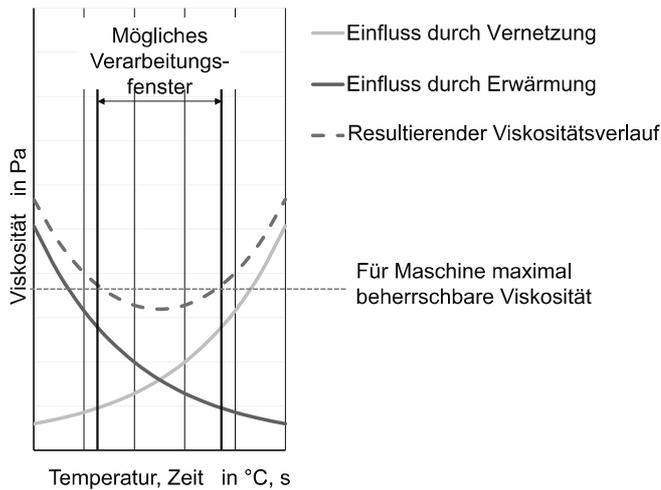


Bild 1.2 Viskositätsverlauf von vernetzenden Formmassen [1.1]

Bild 1.2 zeigt eine schematische Darstellung des Viskositätsverlaufes solcher Formmassen und welchen Bereichen des Zyklus dies zuzuordnen ist.

1.3.1 Spritzgießen von Elastomeren

Elastomerformmassen besitzen bereits im Anlieferungszustand eine makromolekulare Struktur, allerdings wird im Werkzeug unter dem Einfluss von Wärme noch eine weitmaschige Vernetzung der Molekülketten erzeugt. Infolgedessen ist die Volumenänderung, welche mit der Vernetzung einhergeht, gering [1.4].

Um eine Vernetzung vor Eintritt in das Werkzeug zu vermeiden, werden die Plastifiziereinheiten in der Regel $< 100\text{ °C}$ eingestellt.

Durch die Erwärmung der Elastomer Masse auf in der Regel bis zu 210 °C in der Kavität dehnt sich deren Volumen erheblich aus, so dass es zu hohen Werkzeuginnendrücken kommt. Da die Formmassen bei der Berührung mit der heißen Wand des Formnestes vor der Vernetzung niedrigviskoser werden, müssen die Spaltweiten der Trennfugen und Auswerferführungen $< 0,01\text{ mm}$ sein, um Gratbildung zu vermeiden. Diese Forderung ist vor allem bei größeren Werkzeugen nicht immer realisierbar, so dass es häufig nicht möglich ist, Gratbildung und damit Nacharbeit am Formteil zu vermeiden.

1.3.2 Spritzgießen von Duroplasten

Duroplaste werden in einem niedermolekularen Zustand zum Spritzgießen angeliefert. Sie sind meist mit Mineralpulvern, Fasern und Holzmehl oder anderen Stoffen gefüllt, so dass sie bei den niedrigen Temperaturen im Zylinder ($< 190\text{ °C}$) der Plastifiziereinheit eine relativ hohe Viskosität besitzen.

Die Werkzeugtemperaturen betragen im Allgemeinen bis zu 190 °C . Hierdurch entsteht eine engmaschige Vernetzung, die zu einer schnellen Erstarrung führt. Da die chemische Reaktion exotherm abläuft, muss Wärme abgeführt werden. Die duroplastische Matrix wird bei Kontakt mit den heißen Werkzeugwänden besonders dünnflüssig. Zur Vermeidung von Graten am Formteil dürfen daher Spalten an den Trennfugen $< 0,001\text{ mm}$ nicht überschreiten. Aufgrund von Verschleisserscheinungen können jedoch auch bei sorgfältiger Werkzeugwartung minimale Gratbildungen häufig nicht vollständig vermieden werden [1.7].

■ Literatur Kapitel 1

- [1.1] *Hopmann, C.; Michaeli, W.:* Einführung in die Kunststoffverarbeitung. Carl Hanser Verlag, München 7. Auflage 2015.
- [1.2] *Johannaber, F.; Michaeli, W.:* Handbuch Spritzgießen. Carl Hanser Verlag, München 2. Auflage 2004.
- [1.3] *Kazmer, D. O.:* Injection Mold Design Engineering. Carl Hanser Verlag, München 2. Auflage 2016.
- [1.4] *Baur, E. (Hrsg.):* Saechtling Kunststoff-Taschenbuch. Carl Hanser Verlag, München 31. Auflage 2013.
- [1.5] *Röthemeyer, F.; Sommer, F.:* Kautschuktechnologie. Carl Hanser Verlag, München 3. Auflage 2013.
- [1.6] *Buchschausen, E.:* Automatisierung beim Spritzgießen von Duroplasten und Elastomeren, Dissertation an der RWTH Aachen 1982.
- [1.7] *Wahl, S.:* Spritzgussverarbeitung von Duroplasten – Grundlagen und Anwendungsfelder einer Werkstoffgruppe. Vortrag zur Fachtagung Duroplast-spritzgießen am IKV Aachen, 2015.