

HANSER

Leseprobe

Christoph Jaroschek

Spritzgießen für Praktiker

ISBN (Buch): 978-3-446-43360-1

ISBN (E-Book): 978-3-446-43610-7

Weitere Informationen oder Bestellungen unter
<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-43360-1>
sowie im Buchhandel.

1

Der Spritzgießprozess

1.1 Verfahrensablauf

Spritzgießen ist ein Herstellverfahren für Kunststoffartikel, bei dem Kunststoffgranulat aufgeschmolzen (Schritt 1: Plastifizieren) und dann in den Hohlraum (Formnest, Kavität) eines Werkzeugs eingespritzt wird (Schritt 4: Einspritzen). Die Kunststoffschmelze verfestigt sich in der Kavität bei den meisten Kunststoffen durch Erstarren (Schritt 5: Abkühlen), so dass das gespritzte Teil der Form entnommen werden kann (Schritt 6: Entformen).

Der in Bild 1.1 gezeigte Ablauf stellt einen sich wiederholenden Zyklus dar. Im ersten Schritt wird über den Einfülltrichter das Kunststoffgranulat der Schnecke zugeführt. Durch die Drehbewegung der Schnecke wird das Material nach vorne gefördert. Die entstehende Reibungswärme und die elektrische Heizung des Schneckenzyinders führen zum Schmelzen des Granulats (Plastifizieren). Solange die Düse an der werkzeugnahen Seite des Schneckenzyinders geschlossen ist, sammelt sich die Schmelze vor der Schneckenspitze (Schneckenorraum) und schiebt die Schnecke zurück. Um die Reibungskräfte während des Plastifizierens zu erhöhen, bremst man die Rückwärtsbewegung der Schnecke mit einem hydraulischen Gegendruck (Staudruck) im Antriebszylinder (Einspritzzylinder). Das für den Spritzgießprozess notwendige Schmelzevolumen wird während des Plastifizierens im Schneckenorraum dosiert. Mit Hilfe eines Wegmesssystems wird über den Rücklauf der Schnecke das Dosiervolumen bestimmt.

Spritzgießen ist ein zyklischer Prozess

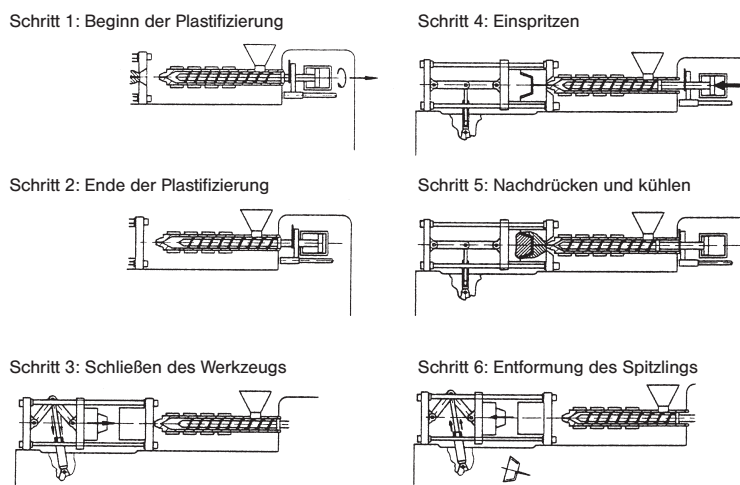


Bild 1.1 Prinzipieller Verfahrensablauf beim Spritzgießen (Bildquelle: Pötsch G., Michaeli W., „Injection Molding“, S. 2, Bild 2.34, Hanser Verlag, 1995)

Einspritzen,
Formteilbildung

Bevor ein Formteil gespritzt werden kann, wird das Werkzeug mit hoher Kraft (Schließkraft) geschlossen und das Spritzaggregat mit der Düse zur Angussbüchse des Werkzeugs gefahren. Die Schmelze wird mit einer vorgegebenen Einspritzgeschwindigkeit der Schnecke in den Werkzeughohlraum gespritzt. Dabei steigt der Druck (Einspritzdruck) stetig an. Bei den meisten Spritzgießmaschinen wird heute die Einspritzgeschwindigkeit geregelt. Ein vom Maschinenbediener eingestellter Spritzdruck ist nur ein Begrenzungsdruck, der vom Antriebssystem der Maschine nicht überschritten werden soll.

Nachdrücken zum
Schwindungsausgleich

Der Einspritzvorgang ist beendet, wenn die Kavität fast vollständig mit Schmelze gefüllt ist. Ab jetzt muss noch weitere Schmelze nachgedrückt werden (Nachdruck), um die Materialschrumpfung des Formteils während des Abkühlens auszugleichen. Der Nachdruck ist deutlich geringer als der Einspritzdruck, damit die in der Kavität wirkende Kraft die Schließkraft der Maschine nicht übersteigt. Andernfalls kommt es zum Überspritzen. Die Umschaltung von Einspritzen auf Nachdrücken erfolgt meist mit Erreichen eines vorgegebenen Wegpunkts der Schnecke während ihrer Vorwärtsbewegung (Umschaltpunkt). Wenn das Formteil erkaltet und ausreichend stabil ist, kann das Werkzeug geöffnet und das Formteil mittels im Werkzeug integrierter Ausstoßer entformt werden.

Einstellwerte,
spezifisch und
maschinenbezogen

Die Maschineneinstellwerte (Geschwindigkeiten, Wege und Drücke) können spezifisch oder maschinenbezogen sein. Beide Angaben lassen sich mit dem Schneckendurchmesser D ineinander umrechnen (Tabelle 1.1). Spezifische Angaben sind unabhängig vom Schneckendurchmesser und ermöglichen eine einfache Übertragung einer Maschineneinstellung auf eine andere Maschine. Im Folgenden werden immer spezifische Angaben zu Grunde gelegt. Üblich ist heute noch oft die zusätzliche Angabe maschinenbezogener Werte. Viele Maschinensteuerungen bieten bereits eine Umrechnung und wahlweise Darstellung dieser Angaben.

TABELLE 1.1 Umrechnung von spezifischen in maschinenbezogene Einstellwerte beim Spritzgießen

Verfahrens- ablauf	Einstellwerte		Umrechnung
	spezifisch	maschinenbezogen	
Dosieren	Umfangsgeschwindigkeit: v	Drehzahl: n	$v = \pi n D_{\text{Schnecke}}$
Einspritzen	Druck in der Schnecke: $p_{\text{spez.}}$	Hydraulikdruck der Maschine: $p_{\text{hydr.}}$	$p_{\text{hydr.}} = p_{\text{spez.}}$
Nachdrücken	Volumen des Schnecken- vorraums: V	Hub der Schnecke: s	$V = s \frac{\pi}{4} D_{\text{Schnecke}}^2$
	Volumen pro Zeiteinheit: $\dot{V}$	Vorlaufgeschwindigkeit der Schnecke: v_{Schnecke}	$\dot{V} = v_{\text{Schnecke}} \frac{\pi}{4} D_{\text{Schnecke}}^2$

D_{Schnecke} : Schneckendurchmesser
 $D_{\text{hydr.}}$: Durchmesser des Hydraulikkolbens der Einspritzseite

Voraussetzung für
gleichbleibende
Qualität sind möglichst
gleiche Zyklen

Für eine gleichbleibend gute Qualität der Spritzgussprodukte müssen die Zyklen des Spritzgießprozesses (Bild 1.1) möglichst gleich sein. Das gelingt nur bei einem kontinuierlichen und störungsfreien Betrieb, weil in jedem Zyklus große Temperaturwechsel auftreten. Das Werkzeug wird bei thermoplastischen Kunststoffen (diese werden bei

Werkzeugaufspannplatte

- lange Dosierzeiten, wenn die Düse für den Plastifizierungsvorgang verschlossen sein soll und während des Plastifizierens bereits das Werkzeug öffnen soll.

Auch **Formaufspannplatte** genannt. Dies sind die Maschinenplatten der Schließseite, an denen das Werkzeug befestigt wird. Die Schließeinheit besitzt eine bewegliche Werkzeugaufspannplatte, an der üblicherweise der **Auswerfer** befestigt ist sowie eine feste Aufspannplatte (Düsenplatte), durch die die Maschinendüse hindurchtaucht.

■ 2.2 Werkzeug

Anguss

Die Verbindung zwischen Düse und Kavität heißt bei Kaltkanalwerkzeugen Anguss. Hierbei bezeichnet man üblicherweise die gerade, sich konisch aufweitende Verbindung zur Düse als Angussstange. Diese wird mit der Öffnungsbewegung des Werkzeugs aus der Düsenseite herausgezogen. Bei Mehrfachwerkzeugen trifft dieser Stangenanguss auf einen **Angussverteiler**, der senkrecht zur Entformungsrichtung in der Trennebene liegt und die Verbindung zu den Formnestern bildet.

Angussbuchse

Anbindungsstück für die Maschinendüse. Die Angussbuchse hat eine geringfügig größere Bohrung als die Maschinendüse, damit beim Entformen des Angusses nicht Restmaterial zwischen Maschinendüse und Angussbuchse den Entformungsvorgang behindert. Der Radius der Angussbuchse muss geringfügig größer sein als der der Düse, damit die Düse gut anliegt. Bei gleichem Durchmesser kann Restmaterial nicht von der angepressten Düse weggequetscht werden, wodurch letztendlich Schmelze auch seitlich zwischen Düse und Angussbuchse herausgespritzt werden kann. Ein Radius an Düse und Angussbuchse sorgt zudem für eine Zwangszentrierung. Bei Düsenumdichtigkeiten ist zu prüfen, ob die Düse gut an der Angussbuchse anliegt. Das kann geschehen, indem man ein Blatt Papier zwischen Düse und Angussbuchse legt und die Düse gegen die Angussbuchse fährt. Der so erzeugte Düsensdruck zeigt, ob die Düse mit der Angussbuchse fluchtet.

Angussverteiler

Zufuhrkanäle für die Schmelze zu den **Kavitäten**. Bei mehreren Kavitäten ist das Angussystem entsprechend der Lage der Kavitäten verzweigt, man spricht dann auch von Angussspinne. Zur gleichmäßigen Füllung des Werkzeugs sollten die Verbindungen zwischen den Kavitäten und der Düse gleich lang sein (natürliche Balancierung, siehe Bild 2.9 rechts). Bei unterschiedlich langen Verteilerkanälen kann auch eine Balancierung über eine Anpassung der Durchmesser erfolgen. Dies ist aber nicht optimal, weil sich bei verschiedenen Einspritzgeschwindigkeiten unterschiedlich viel Frikctionswärme bildet, somit ist das Ergebnis der Balancierung nicht betriebspunktunabhängig.

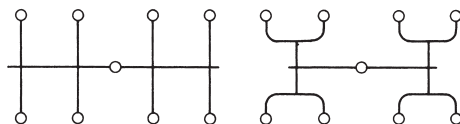


Bild 2.9

Verteilersysteme für Werkzeug mit mehreren Kavitäten

Die Werkzeugseite, die das Auswerfersystem beinhaltet, ist üblicherweise die bewegliche Werkzeugseite, d. h. sie wird während der Öffnungsbewegung aufgefahren.

Auswerferseite

Bewegliche Mechanik innerhalb des Werkzeugs (Bild 2.10), um das Spritzgussteil zu entformen. Der Auswerfer besteht aus der Auswerferplatte, an der die Auswerferstifte befestigt werden. Gegebenenfalls werden die Auswerferstifte mit Auswerferhülsen geführt. Der Auswerfer kann mit dem Betätigungsbolzen der Maschine über eine Auswerferkupplung fest verbunden sein. Andernfalls muss er mit einer Feder oder mit Rückdrückstiften wieder in seine hintere Lage bewegt werden.

Auswerfersystem

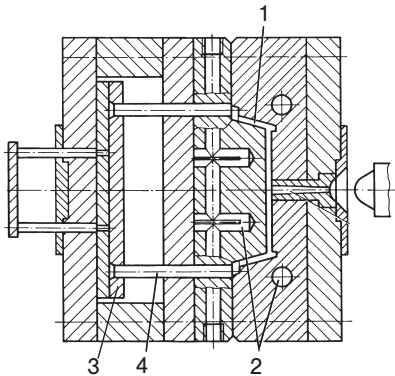


Bild 2.10 Auswerfersystem
(1 Kavität, 2 Kühlbohrung, 3 Auswerferplatte, 4 Auswerferstift)

Siehe auch **Schrägschieber**. Bei großflächigen, außenliegenden Hinterschneidungen liegt die Kontur ganzer Formteilmbereiche in einer seitlich verfahrbaren Backe (Schieber-element).

Backenwerkzeug

Bei Mehrkomponentenwerkzeugen wird oft der Vorspritzling für den nächsten Zyklus mit einem Dreheinsatz in die nächste Kavität zum Überspritzen transportiert. Der Dreheinsatz kann je nach Bauart des Werkzeugs als Drehkreuz bezeichnet werden.

Dreheinsatz

Werkzeuge mit zwei Trennebenen für das Formteil und den Angussverteiler werden als Dreiplattenwerkzeuge bezeichnet (Bild 2.11). Die zusätzliche Mittelplatte trennt die beiden Ebenen. Die Bewegung der Mittelplatte kann über Mitnehmer (**Klinkenzug**, Zuganker), die an der beweglichen Werkzeugseite befestigt sind, erfolgen.

Dreiplattenwerkzeug

Aussparung/Loch im Formteil.

Durchbruch

Werkzeug mit zwei oder mehr Trennebenen mit Formnestern (Bild 2.12). Die Formteile haben meist gleiche projizierte Flächen und liegen direkt hintereinander. Es ist nur die Schließkraft für eine Trennebene notwendig, weil sich die Forminnendrucke der gegenüberliegenden Formnester kompensieren. Vielfach handelt es sich um Anwendungen mit hohem Ausstoß. Dazu wird die Bewegung der Mittelplatte mit einem Zahngetriebe oder mit einem Mittelteilgelenkhebel synchronisiert (Bild 2.13).

Etagenwerkzeug

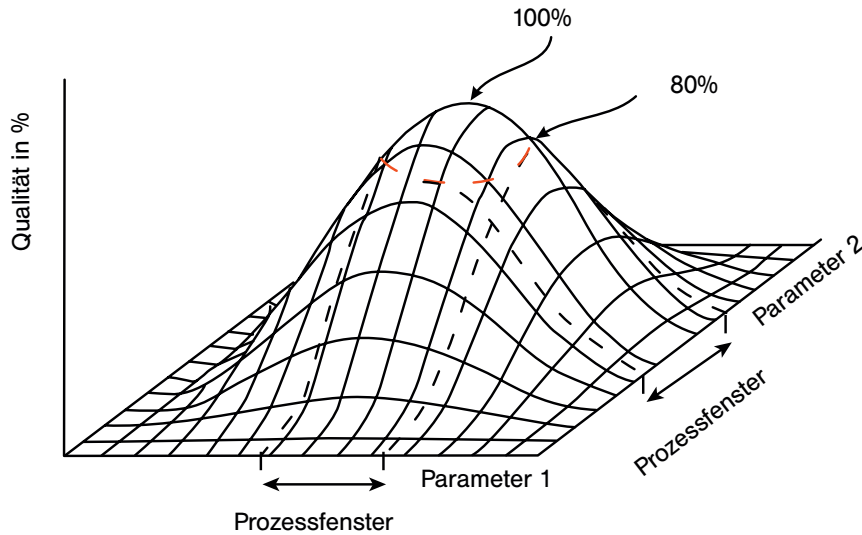


Bild 3.2 Mögliche Einstellgrößen zum Erreichen unterschiedlicher Qualität

Ziel einer Optimierung ist es, verkaufbare Teile herzustellen. Man sollte also die Optimierung beenden, wenn man brauchbare Qualität erreicht hat. In der bildlichen Darstellung liegt die verkaufbare Qualität dann bereits unterhalb der Bergspitze (Bild 3.2). Der Gipfel selbst wird sich wahrscheinlich nur mit zusätzlicher künstlicher Intelligenz an der Maschine erreichen lassen.

■ 3.1 Basisdaten für die Grundeinstellung

Für ein schematisiertes Vorgehen beim Einstellen der Maschinendaten sind zunächst nur wenige Informationen erforderlich. Die geforderten Daten hierzu sind:

- Schussgewicht,
- Fließweglänge,
- mittlere Wanddicke,
- verarbeiteter Kunststoff,
- Formteilkategorie,
- projizierte Formteilfläche.

Basisdaten für eine standardisierte Festlegung der Einstellwerte

3.1.1 Schussgewicht

Bauteilgewicht legt das Schussvolumen fest

Das Schussgewicht setzt sich zusammen aus dem Formteilmgewicht aller Nester und dem Angussgewicht. Für den Dosiervorgang muss das Schussvolumen bekannt sein. Volumen (V in cm^3) und Gewicht (m in g) sind über die Dichte des Kunststoffs (ρ in g/cm^3) miteinander verknüpft:

$$V = m/\rho$$

Fehlerhafte Angaben zum Schussgewicht sind unkritisch, solange das Gewicht eher zu klein geschätzt wird, bei noch nicht exakt bekannten Werten. Ein nicht berücksichtigtes Angussgewicht beispielsweise wird für die Grundeinstellung lediglich eine etwas längere Korrekturphase nach sich ziehen, weil das Schussvolumen zu gering eingestellt wird.

Selbst bei Unkenntnis des Schuss-/Formteilmgewichts ist eine Einstellung der Maschine möglich. Man tastet sich langsam an das notwendige Schussgewicht heran, indem man es von Schuss zu Schuss erhöht. Es kommt also nicht auf eine genaue Berechnung an.

3.1.2 Fließweglänge

Länge des Fließwegs zur Bestimmung der Einspritzgeschwindigkeit

Der maximale Fließweg im Formteil ist die Entfernung zwischen Anschnitt und dem zuletzt gefüllten Bereich. Am vorhandenen Teil (Spritzgussteil oder Prototyp) misst man mit einem Maßband die Strecke vom Anschnitt bis zum vermutlichen Fließwegende. Häufig teilt sich der Schmelzestrom in mehrere Fließwege auf z. B. an Durchbrüchen. In diesem Fall gilt für die Bemessung jeweils der längste mögliche Fließweg (Bild 3.3).

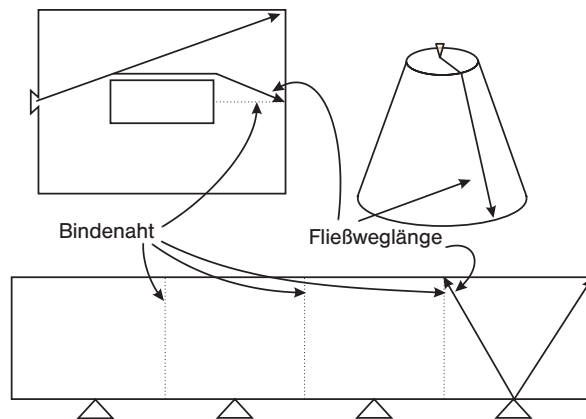


Bild 3.3 Fließweglängen bei unterschiedlichen Formteilgeometrien

Die Fließweglänge wird für die Ermittlung der Einspritzgeschwindigkeit benötigt (siehe Bild 3.8, vergrößerte Darstellung in Kapitel 7 „Vorgehensweise für eine standardisierte Voreinstellung einer Spritzgießmaschine“, Bild 7.2). Es kommt bei der Fließweglänge nicht auf eine millimetergenaue Angabe an, zumal sich der genaue Füllverlauf beispielsweise bei komplizierter Geometrie ohne Computerprogramme nicht exakt vorher-sagen lässt.

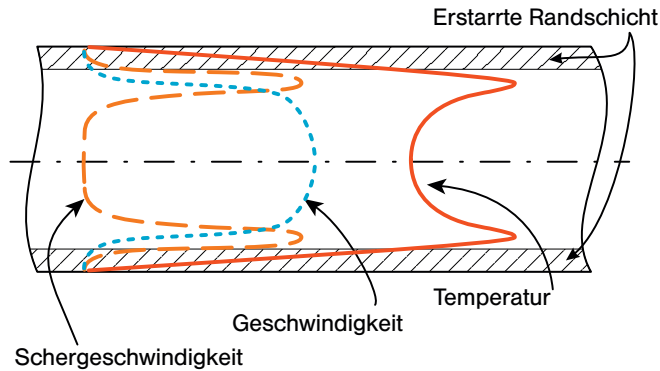


Bild 4.2 Geschwindigkeit und Schergeschwindigkeit im Strömungsquerschnitt (schematisch)

In dieser Darstellung wird deutlich, dass die Scherung im Bereich der erstarrten Randschicht am größten ist, da hier die Relativgeschwindigkeit zwischen den benachbarten Schmelzeteilchen am größten ist. Aus diesem Grund können auch enge Querschnitte (z. B. Filmangüsse) sehr lange durchströmt werden, denn die Reibungswärme wirkt dem Wärmeverlust durch Wärmeleitung in Richtung Werkzeug entgegen. Mit dem Beginn der Nachdruckphase wird wegen der dann sehr viel kleineren Schmelzgeschwindigkeit die Reibungswärme wegfallen und ein kleiner Querschnitt rasch abfrieren.

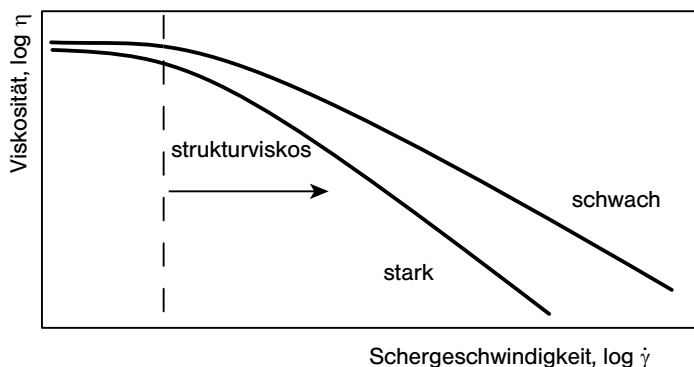
Schererwärmung

Die Viskosität einer Kunststoffschmelze ist kein konstanter Wert, da sie abhängt von der Schergeschwindigkeit und der Temperatur.

Viskosität ist kein konstanter Wert

4.1.2.1 Einfluss der Schergeschwindigkeit auf die Viskosität

Eine besondere Eigenschaft der Kunststoffe ist deren strukturviskosität. Damit ist gemeint, dass mit steigender Scherung die Kunststoffschmelze leichter fließt, sie wird zunehmend niedrigviskos. Dieses Verhalten wird mit Viskositätskurven deutlich, wobei die Viskosität in Abhängigkeit von der Schergeschwindigkeit aufgetragen ist. Das Bild 4.3 zeigt schematisch das Fließverhalten. Im Allgemeinen haben Kunststoffschmelzen zwei Fließbereiche. Bei geringen Schergeschwindigkeiten ist die Viskosität weitgehend konstant und mit zunehmender Geschwindigkeit wird die Viskosität geringer.



Nullviskosität ist bedeutend für die Nachdruckphase

Bild 4.3 Einfluss der Schergeschwindigkeit auf die Viskosität

Strukturviskosität ist für die Einspritzphase wichtig

Der Bereich mit konstanter Viskosität wird auch Nullviskosität genannt, dieses Verhalten ist bedeutend in der Nachdruckphase, weil hier die Geschwindigkeiten der Schmelze insgesamt sehr klein sind.

Die Strukturviskosität kennzeichnet den Bereich mit stetig fallender Viskosität. Dieser Bereich ist für die Einspritzphase wichtig, denn je höher die Schergeschwindigkeiten sind, desto geringer wird der Fließwiderstand und somit auch der Einspritzdruck.

Kennzahl für die Viskosität ist der MFI

Vielfach wird nicht zwischen Null- und Strukturviskosität unterschieden. Ein in der Praxis gängiger Kennwert ist der MFI (Melt Flow Index), der die Schmelzemenge angibt, die bei geringen Drücken bzw. Geschwindigkeiten durch eine kleine Düsenöffnung austritt. Dieser Wert kennzeichnet jedoch nur die Nullviskosität.

Bedeutung der Strukturviskosität für das Spritzgießen

Der Formfüllvorgang erfolgt mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten, weshalb die Kenntnis der Strukturviskosität wichtig ist. Dieser Wert ist der Neigungswinkel der Viskositätskurve im rechten Bildteil (siehe Bild 4.3). Je höher die Strukturviskosität eines Materials ist, desto leichter kann es mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten auch lange Fließwege füllen. Das gilt besonders für die Materialgruppe der thermoplastischen Elastomere (TPE). Bei Materialien mit einer schwachen Strukturviskosität ist dagegen das Füllverhalten lange Fließwege nicht so stark über die Geschwindigkeit beeinflussbar.

Ein definierter Wert für die Strukturviskosität analog zum MFI, mit dem sich unterschiedliche Materialien vergleichen lassen, ist derzeit noch nicht festgelegt worden.

4.1.2.2 Einfluss der Temperatur auf die Viskosität

Bei höheren Temperaturen fließt die Kunststoffschmelze besser, da die Viskosität sinkt.

Unterschiedliche Temperaturen im Strömungskanal

Neben dem Temperaturprofil über dem Querschnitt ergibt sich auch ein Temperaturprofil in Richtung des Fließwegs. Während die Schmelze in das Werkzeug fließt, gibt sie einerseits Wärme an das kältere Werkzeug ab und wird gleichzeitig durch Scherung aufgewärmt. Wie hoch die Temperatur der einströmenden Schmelze ist, hängt von der Schmelzetemperatur, der Kühlwirkung des Werkzeugs und von der Einspritzgeschwindigkeit ab.

Die Einflüsse der Schergeschwindigkeit und der Temperatur gemeinsam zu berücksichtigen und damit die Einstellung einer Spritzgießmaschine zu optimieren ist nicht möglich, zumal die Schergeschwindigkeit nicht direkt im Verhältnis zur Einspritzgeschwindigkeit steht. Der Praktiker muss für ein Abschätzen des Verhaltens nur wissen, ob die Viskosität steigt oder sinkt. Entsprechend dem Gesetz von Hagen-Poiseuille wird der Druck zum Einspritzen steigen oder fallen. Reicht also z.B. die Leistung der Maschine zum Füllen der Form nicht aus, kann eine Temperaturerhöhung der Schmelze eine geeignete Maßnahme sein.

Die Sonderverfahren des Spritzgießens haben neben einer Vielzahl von Namen jeweils auch etwas Typisches, das sich in einer speziellen Prozessführung niederschlägt. Im Folgenden werden die wichtigsten Sonderverfahren behandelt, wobei zunächst kurz der Prozess beschrieben wird. Daran schließt sich das jeweilige verfahrensspezifische Know-how an, das der Anwender kennen sollte, um die fertigungstechnischen Möglichkeiten dieser Sonderverfahren einschätzen und Prozessfehler beurteilen und beheben zu können.

■ 5.1 Spritzgießen mit Treibmitteln

Treibmittel sind handelsüblich als Pulver oder Masterbatches erhältlich. Sie werden in geringen Mengen, ähnlich Farb Beimengungen, dem Kunststoffgranulat zugefügt. Treibmittel bewirken vergleichbar wie beim Kuchenbacken das Backpulver ein Aufschäumen der Schmelze, das durch die thermische Zersetzung des Treibmittels in gasförmige Bestandteile aufgelöst wird. Diesen Effekt nutzt man, um dickwandige Geometrien ohne lange Nachdruckzeiten herzustellen. Durch den Schäumdruck (ca. 30 bar) bläht die Schmelze auf und wirkt so der Schwindung und somit Einfallstellen entgegen.

Wirkung von
Treibmitteln

Neben der Herstellung von dickwandigen Geometrien und der Vermeidung von Einfallstellen ist ein weiteres Ziel beim Spritzgießen mit Treibmitteln oft die Gewichtseinsparung. Durch Treibmittel entstehen im Bauteilinneren kleine Bläschen, womit eine mittlere Materialdichte von 70 % bezogen auf die Ursprungsdichte eines nicht geschäumten Bauteils möglich ist (bei Formteilen dicker als 4 mm). Die erzielte Dichte hängt davon ab, wie dick das Formteil und wie hoch der Prozessdruck ist. Bei dünnen Bauteilen ist der notwendige Fülldruck höher. Weil der Schäumdruck aber nahezu konstant ist und sich nicht steigern lässt, wird die Schaumentwicklung klein bleiben und somit nur eine geringe Dichtereduktion möglich.

Einfallstellen-
vermeidung und
Dichtereduktion

Man unterscheidet physikalische und chemische Treibmittel. Bei den physikalischen Treibmitteln erfolgt der Treibvorgang durch Verdampfen niedrigsiedender Flüssigkeiten; das kann z. B. geschehen, wenn das Granulat feucht ist. Die natürliche Restfeuchte im Kunststoff wirkt wie ein Treibmittel, wenn das eingelagerte Wasser bei der hohen Schmelzetemperatur verdampft. Wegen des unerwünschten Nebeneffekts in Form schlechter Oberflächen wird die Feuchtigkeit meist durch Trocknen vor der Verarbeitung entfernt. Höhere Schäumdrücke erreicht man mit CO₂. Oberhalb 30 °C und ca. 70 bar ist CO₂ überkritisch, d. h. sowohl flüssig als auch gasförmig. Damit hat es in diesem Zustand

Physikalische
Treibmittel

eine hohe Dichte und eine gute Löslichkeit in der Schmelze. Bei Unterschreiten von 70 bar wird es gasförmig, wobei es sich stark ausdehnt und somit den Schäumvorgang auslöst. Grundsätzlich wäre ein Schäumen auch mit für die Umwelt neutralem Stickstoff möglich, hier liegt der kritische Zustand bei ca. -145 °C und 30 bar. Damit wird hier der Schäumdruck geringer sein.

Chemische Treibmittel

Die chemischen Treibmittel wirken durch Zersetzung im Bereich der Schmelzetemperatur. Beim Zersetzen bilden sich Gasbläschen (oft CO_2 , Kohlendioxid oder Stickstoff), die das Aufschäumen der Schmelze auslösen. Der Zersetzungsvorgang läuft – zwar nur sehr langsam – auch bei Raumtemperatur ab, daher kann die Wirksamkeit eines Treibmittels durch lange Lagerzeiten eingeschränkt sein.

Schäumvorgang

Solange der Schmelzedruck höher ist als der Schäumdruck des gasförmigen Treibmittels (ca. 30 bar) kann dieses nicht wirken. Das ist vergleichbar wie bei kohlenensäurehaltigen Getränken; solange die Flasche verschlossen ist, kann man das Getränk schütteln, ohne dass die Kohlensäure entweicht. Sobald man aber die Flasche öffnet, kommt es zu einer Aufschäumreaktion. Die Ursache ist der geringe Schäumdruck. Das heißt das Treibmittel bzw. das daraus entstandene Gas verbleibt in der Schmelze in Lösung, solange, bis der Schmelzedruck den Schäumdruck unterschreitet.

Dichteprofil: Schaumblasen können im Bereich der kalten Werkzeugwand nicht wachsen

Die Wirksamkeit von Treibmitteln kann man am Formteilgewicht ablesen. Hierzu vergleicht man treibmittelfrei spritzgegossene Formteile mit solchen, die mit Treibmittel hergestellt wurden. Bei sonst gleichen Abmessungen kann man so auf die Dichtereduzierung schließen. Sie hängt von der Formteildicke ab, denn die Schmelze kühlt während des Einspritzens an den Werkzeugwänden aus. Dabei steigt die Zähigkeit und damit auch der Widerstand, aufgeschäumt zu werden. Man setzt aus diesem Grund Treibmittel erst ab Wanddicken oberhalb 4 mm ein, denn bei geringerer Wanddicke ist die Schäumwirkung nicht ausreichend. Grundsätzlich bildet sich über dem Querschnitt ein Dichteprofil, bei dem die geringste Dichte in der Querschnittsmitte vorliegt; hier sind also die Schaumbläschen am größten. Am Rand ist die Dichte hoch, es bildet sich eine kompakte Außenhaut (Bild 5.1).

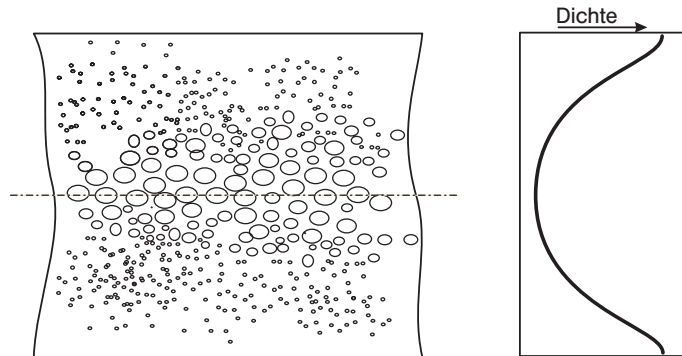


Bild 5.1 Schaumstruktur und Dichteprofil (schematisch)

Ursachen für schlechte Oberflächen

Die Oberflächen von mit Treibmitteln spritzgegossenen Bauteilen sind meist sehr unruhig, denn das Treibmittel bewirkt während des Formfüllens bereits den Schäumungsvorgang, wobei sich Schaumblasen an der Fließfront bilden. Diese werden beim weiteren

■ 6.2 Optimierung mit externer Intelligenz

Direkt erfassbare
Qualitätsmerkmale

Die Optimierung des Spritzgießprozesses orientiert sich normalerweise an den tatsächlich auftretenden Fehlern. Im Kapitel 3 „Einstellung der Verarbeitungsgrößen“ sind dazu einfache Regeln und Vorgehensweisen beschrieben. Bei dieser Art der Optimierung ist das vorrangige Ziel, die Maschine so einzustellen, dass sie Teile produziert, die innerhalb der geforderten Toleranz liegen. Als Optimierungskriterien dienen Qualitätsmerkmale, die der Bediener relativ einfach ermitteln kann.

Nicht direkt erfassbare
Qualität

Es gibt aber auch Qualitätsmerkmale, für deren Ermittlung es kein standardisiertes Vorgehen gibt. Hierzu zählt z. B. die Prozessstreuung, d. h. die Abweichung von vorgegebenen Prozessparametern, die minimal sein soll, damit nicht schon kleine Störeinflüsse zu Ausschuss führen. Die Prozessstreuung ergibt sich aus der Summe aller zufälligen Störeinflüsse wie z. B. unregelmäßiges Schließen der Rückströmsperre, schwankender Trocknungsgrad u. a.

Im Folgenden werden zwei Mittel beschrieben, mit deren Hilfe sich auch solche Qualitätsmerkmale optimieren lassen. Beiden liegen mathematische Modelle zugrunde. Sie benötigen Prozessdaten, mit deren Hilfe quantitative Aussagen über den Prozessverlauf gemacht werden.

6.2.1 Statistische Versuchsplanung (SVP)

Strategie zur Erfassung
von Einflussgrößen

Die Grundlage der SVP ist ein standardisierter Versuchsplan, mit dem verschiedene Prozessparameter und ihr Einfluss auf definierte Qualitätsmerkmale getestet werden. Auf diese Weise erfährt man, wie sich eine Änderung der einzelnen getesteten Parameter auf die Teilequalität auswirkt. Man ermittelt zunächst die Veränderung eines Prozessparameters, der einen großen oder einen kleinen Einfluss auf die erzielte Qualität bzw. bestimmte Qualitätsmerkmale hat. Anschließend kann man nach vorgegebenen Regeln ein mathematisches Modell anwenden, mit dem die Qualitätsmerkmale mit jeder beliebigen Parameterkombination innerhalb des Versuchsraums, sprich der untersuchten Prozessparameter, berechnet werden können. Zur Modellbildung existieren spezielle Statistikprogramme, die den nicht unerheblichen Berechnungsaufwand erledigen.

Vollfaktorieller
Versuchsplan

Im Folgenden ist anhand eines einfachen Versuchsplan aufgezeigt, welche Möglichkeiten und Grenzen diese Methode beinhaltet: Es soll geklärt werden, ob das Qualitätsmerkmal Formteilgewicht stärker durch die Einflussgröße Nachdruckhöhe oder durch die Werkzeugtemperatur beeinflusst wird und bei welchem Wert jeder der beiden Parameter qualitativ gute Teile erzeugt werden. Jeder gewissenhafte Praktiker wird jeden Parameter nach oben und unten variieren, also pro Parameter mindestens zwei Versuche fahren. Damit ergibt sich ein „2²-Versuchsplan“ mit vier Versuchen (Tabelle 6.1).

TABELLE 6.1 Versuchsfolge bei einem 2^2 Versuchsplan

Versuchsnummer	T_{Werkzeug}	$p_{\text{Nachdruck}}$	Gewicht
1	80 °C	450 bar	86,8 g
2	80 °C	350 bar	83,1 g
3	30 °C	450 bar	85,0 g
4	30 °C	350 bar	82,3 g

Zu jedem der Versuche, die jeweils aus 5 bis 10 Maschinenzyklen bestehen, erhält man Ergebniswerte, in diesem Fall jeweils das Formteilgewicht bzw. einen Mittelwert der Formteilgewichte an einem Versuchspunkt. Man wird feststellen, dass eine Änderung des Nachdrucks einen größeren Einfluss hat als eine Änderung der Werkzeugtemperatur. Bei einer niedrigen Werkzeugtemperatur verändert ein Druckanstieg von 100 bar das Formteilgewicht um 3,3 g, bei einer hohen Werkzeugtemperatur beträgt die Gewichtsänderung 3,7 g. Eine Änderung der Werkzeugtemperatur hat in diesem Beispiel demnach nur einen kleineren Einfluss. Allein durch eine solche Bewertung kann man aus den Versuchsergebnissen den stärkeren Einfluss des Nachdrucks erkennen und lernen, dass man für eine Gewichtskorrektur besser den Nachdruck verstellt.

Bei den hier vorgestellten Versuchsplänen werden die Einstellwerte nur auf zwei Stufen verändert. Hierbei nimmt man an, dass der Einfluss linear ist. Diese Annahme ist zulässig, wenn die Stufen nicht sehr weit auseinander liegen. Wenn man ein nichtlineares Verhalten darstellen wollte, müsste man drei Stufen wählen womit der Versuchsaufwand erheblich steigen würde. Im o.g. Beispiel ergäbe sich ein 3^3 Plan mit 9 statt 4 Versuchen.

Annahme von linearem Verhalten

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, an jedem Versuchspunkt mehrere Qualitätsparameter zu erfassen, (z. B. auch Abmessungen) und den Einfluss der Prozessparameter auf den jeweiligen Qualitätsparameter zu ermitteln. Bezogen auf obiges Beispiel wird man feststellen, dass die Abmessungen des Spritzgussteils vorwiegend durch die Werkzeugtemperatur bestimmt werden. Ein solcher Versuchsplan bietet also die Möglichkeit, den Effekt eines definierten Parameters auf die Qualitätsmerkmale zu berechnen. Auf dieser Basis lässt sich der „richtige“ Wert für den jeweiligen Prozessparameter für eine gezielte Optimierung ermitteln.

Versuchsplan für mehrere Merkmale

Die Einflussgröße eines Parameters ist in der grafischen Darstellung (Bild 6.9) als Steigung zu erkennen. Meist nehmen mehrere Parameter Einfluss auf die Teilequalität, oft wirken sie sogar gemeinsam entweder verstärkend oder abmildernd. Diese Form eines gemeinsamen Einflusses nennt man Wechselwirkung. In Bild 6.9 stellt die Ebene 3 eine solche Wechselwirkung dar. Der Vergleich mit Ebene 2 zeigt, dass an dem Punkt, an dem beide Parameter auf „+“ stehen, eine Verstärkung des Effekts stattfindet. Ebene 2 ist frei von Wechselwirkungen. Der Punkt „+,+“ in Ebene 2 ergibt sich durch den Einfluss der Temperaturerhöhung (Zunahme des Formteilgewichts von 82,3 g auf 83,1 g, d.h. um 0,8 g) und die Erhöhung des Drucks (von 82,3 g auf 85 g, d.h. um 2,7 g), also nimmt das Formteilgewicht insgesamt um (0,8 g + 2,7 g) 3,5 g zu. Aus den Messdaten erhält man ein höheres Niveau für Ebene 3 und eine Änderung von insgesamt (86,8 g – 82,3 g) 4,5 g, d.h. gemeinsam wirken diese beiden Parameter verstärkend (Tabelle 6.1 und Bild 6.9).

Wechselwirkung: der kombinierte Einfluss mehrerer Prozessparameter

7

Vorgehensweise für eine standardisierte Voreinstellung einer Spritzgießmaschine

Eine standardisierte Voreinstellung der Spritzgießmaschine ist die Grundvoraussetzung um einen qualitativen Spritzgießprozess zu erzielen. In den folgenden Abschnitten des Kapitels wird hierzu eine praxisgerechte Vorgehensweise dargestellt.

■ 7.1 Basis-Formteildaten

Damit der Maschineneinrichter eine sinnvolle Voreinstellung der Spritzgießmaschine vornehmen kann, muss er als erstes einige Grundinformationen zusammentragen. Hierzu müssen die Parameter (Basis-Formteildaten) in Tabelle 7.1 ermittelt werden. Das Ergebnis kann in der rechten Spalte der Tabelle eingetragen werden. (Erläuterung der einzelnen Größen siehe Abschnitt 3.2 „Grundeinstellungen“.)

TABELLE 7.1 Basis-Formteildaten

Basis-Formteildaten		
P 1	zu verarbeitender Kunststoff	Art in –
P 2	Gewicht aller zu fertigenden Teile inkl. Anguss	$m_{\text{ges.}}$ in g
P 3	maximale Fließweglänge	L in mm
P 4	mittlere Wanddicke	$\bar{s}$ in mm
P 4a	minimale Wanddicke in Anschnittnähe	s_{min} in mm
P 5	Formteilkategorie	Typ in –
P 6	Schneckendurchmesser	D in mm

■ 7.2 Einstellwerte

Die notwendigen Einstellwerte der Spritzgießmaschine kann der Einrichter mit Hilfe der Ergebnisse aus Tabelle 7.1 (Basis-Formteildaten) und den in Abschnitt 7.3 folgenden Tabellen und Diagrammen ermitteln. Die Parameter ab der Nummer 7 ergeben sich durch die Bearbeitung der Tabelle 7.2. Das Ergebnis kann in der rechten Spalte der Tabelle eingetragen werden. Es können spezifische und maschinenbezogene Daten ermittelt werden (siehe Abschnitt 1.1 „Verfahrensablauf“).

TABELLE 7.2 Einstellwerte

Arbeitsabfolge	Parameter		Einheit	spezi- fisch	maschinen- bezogen
P 1 + Tabelle 7.3	→ Temperaturen	$T_{\text{Düse}}$	°C		
		T_{Einzug}	°C		
		T_2	°C		
		T_3	°C		
		T_4	°C		
		T_{WKZ}	°C		
P 1 + Tabelle 7.4	→ P 7 Plastifizier- geschwindigkeit	v_{Dos}	m/s		
P 7 + Tabelle 7.5	→ Plastifizierdrehzahl	n_{Dos}	1/min		
P 2 + Bild 7.1	→ P 8 Schussvolumen	V_{Schuss}	cm ³		
P 8 + Tabelle 7.6	→ P 9 10 mm Polster	V_{Polst}	cm ³		
P 8 + P 9	→ P 10 Dosiervolumen $V_{\text{Dos}} = V_{\text{Schuss}} + V_{\text{Polst}}$	V_{Dos}	cm ³		
P 10 + Tabelle 7.6	→ Dosierweg	s_{Dos}	mm		
P 3/P 4	→ P 11 Fließweg/ Wanddicke	$L / \bar{s}$	mm/mm		
P 8/P 3	→ P 12 Schussvolumen/ Fließweg	V_{Schuss}/L	cm ³ /mm		
P 11, P 12 + Bild 7.2–7.4	→ P 13 Volumenstrom	$\dot{V}$	cm ³ /s		
P 13 + Tabelle 7.6	→ Einspritzgeschwin- digkeit	v_{ein}	mm/s		
P 10 + Tabelle 7.6	→ Umschalten bei V_{Dos}	V_{U}	cm ³		
P 10 + Tabelle 7.6	→ Umschaltwegpunkt	s_{U}	mm		
P 1, P 4 + Bild 7.5–7.7	→ P 14 Nachdruckhöhe	$p_{\text{N-spez}}$	bar		
P 14/P 10	→ Nachdruckhöhe (ca. $p_{\text{N-spez}}/10$)	$\frac{p_{\text{N-spez}}}{10}$	bar		
P 1, P 4a + Bild 7.8	→ Nachdruckzeit	t_{N}	s		
P 1, P 4 + Bild 7.9	→ Kühlzeit	t_{K}	s		