

Arbeiten mit dem Lernbuch „Technologie des Spritzgießens“

Einführung

Das Spritzgießen ist das bedeutendste Verfahren zur Herstellung von Kunststoffbauteilen. Das vorliegende Lernbuch und Arbeitsbuch führt in dieses Verarbeitungsverfahren ein.

Lektionen

Das Lernbuch „Technologie des Spritzgießens“ ist in Lerneinheiten unterteilt, die als Lektionen bezeichnet werden. Jede Lektion umfasst einen geschlossenen Themenkreis. Die einzelnen Lektionen sind so angelegt, dass sie vom Lernenden in einer Lernsequenz, also in einem Lernschritt, bearbeitet werden können.

Leitfragen

Die Leitfragen zu Beginn einer jeden Lektion sollen dem Lernenden helfen, mit bestimmten Fragen an den Lernstoff heranzugehen. Nachdem er die Lektion durchgearbeitet hat, soll er diese Leitfragen beantworten können.

Vorwissen

Die Lektionen müssen nicht in einer bestimmten Reihenfolge bearbeitet werden. Jede Lektion ist deshalb mit einer Auflistung versehen, aus der hervorgeht, welche anderen Lektionen oder Inhalte zum Verstehen der vorliegenden Lektion wichtig sind.

Erfolgskontrollen

Die Erfolgskontrollen am Ende einer jeden Lektion dienen dazu, das erarbeitete Wissen zu überprüfen. Von der vorgegebenen Antwortauswahl ist die richtige Antwort auszuwählen und in den im Text vorgesehenen unterstrichenen Freiraum (_____) einzutragen. Die Richtigkeit der Antworten kann mithilfe der Lösungen, die am Ende des Buches zu finden sind, überprüft werden. Falls die ausgewählte Antwort falsch ist, sollte der entsprechende Sachverhalt ein weiteres Mal durchgearbeitet werden.

Beispiel: „Optische Datenträger“ (CD, CD-ROM, DVD, Blue-Ray-Disk)

Um die Ausführungen in diesem Buch anschaulicher zu gestalten und den gedanklichen Zusammenhang zwischen den Lektionen zu verdeutlichen, wurde als Beispiel ein bekanntes Produkt gewählt, dessen Herstellung aus Kunststoff einerseits besondere Anforderungen an die Spritzgießtechnik stellt, andererseits aber überhaupt erst die weite Verbreitung dieses Formteils ermöglicht. Der optische Datenträger ist damit ein typisches, hochwertiges Produkt aus Kunststoff. Er findet sich in vielen Lektionen wieder. Es werden Fragen geklärt, wie beispielsweise der richtige Kunststoff für ein Formteil ausgewählt wird oder welche Möglichkeiten der Wiederverwertung (Recycling) von Kunststoffteilen bestehen.

Anhang

Der Anhang liefert für den interessierten Leser ergänzendes Material zu den Kunststoffen. Anhand der ausgewählten Literaturliste kann er sich über weiterführende Fachliteratur informieren. Das Glossar soll zu einem einheitlichen Verständnis der verwendeten Begriffe beitragen, es kann auch als eine Art Kurz-Lexikon verwendet werden. Die Informationen zum Berufsbild des Verfahrensmechanikers Kunststoff und Kautschuk bieten die Möglichkeit, sich genauer über die Aufgaben dieses industriellen Kunststoffberufes, insbesondere der Fachrichtung Spritzgießen, zu informieren. Hier werden auch die Weiterbildungsmöglichkeiten und Aufstiegschancen in diesem Berufsbereich angesprochen.

Spritzgießen – ein ideales Fertigungsverfahren



Leitfragen

- Was ist Spritzgießen?
- Wozu wird Spritzgießen eingesetzt?
- Was sind die Hauptmerkmale einer Spritzgießmaschineneinheit?

Inhalt

- Spritzgießen – ein industrielles Fertigungsverfahren
- Spritzgießen – ein diskontinuierlicher Einstufenprozess
- Spritzgießen – Spritzgießmaschine und Spritzgießwerkzeug

■ Spritzgießen – ein industrielles Fertigungsverfahren

Innerhalb der Kunststoffverarbeitungstechnologien ist das Spritzgießen das bedeutendste Fertigungsverfahren. Durch die digitale Vernetzung aller Produktionsprozesse wird dieses Fertigungsverfahren nicht nur für die Serienfertigung eingesetzt.

bedeutendstes Verarbeitungsverfahren für Kunststoffe

Die ersten Spritzgießmaschinen waren Kolbenmaschinen. Der Kunststoff wurde in einem beheizten Zylinder erwärmt und mittels eines Kolbens in die Form eingespritzt. Dieser Maschinentyp findet sich heute nahezu nicht mehr und wird daher in diesem Buch nicht behandelt.

Kolbenmaschinen

Moderne Spritzgießmaschinen arbeiten meist nach dem Schneckenprinzip. In einem Zylinder wird die Formmasse mittels Heizbänder und Reibungswärme, die durch die rotierende Schnecke erzeugt wird, aufgeschmolzen. Beim Einspritzvorgang wird die Schneckenrotation gestoppt und die Schnecke wirkt als Kolben. Die Schnecke hat also

Schneckenprinzip

Thermoplaste	die Funktionen Fördern, Mischen und Einspritzen zu erfüllen. Bei der Verarbeitung von Elastomeren werden oft getrennte Plastifizierschnecken und Einspritzkolben eingesetzt. Die bedeutendste Kunststoffgruppe, die beim Spritzgießen verarbeitet wird, sind die Thermoplaste. Typische Spritzgussteile aus thermoplastischen Kunststoffen sind Radkappen und Stoßstangen von Pkws, Zahnräder in Küchenmaschinen, Schraubverschlüsse und Schraubdeckel, Bierkästen, Gehäuse und Kugelschreiber.
Compact Disc (CD)	Auch viele optische Speichermedien, wie die Compact-Disc (CD), werden im Spritzgießverfahren hergestellt. Hier kommt der thermoplastische Werkstoff Polycarbonat (PC) zur Anwendung.
vernetzte Polymere	Eine weitere wichtige Werkstoffgruppe sind die vernetzenden Kunststoffe, die je nach ihrem Vernetzungsgrad in die Untergruppen Elastomere und Duroplaste unterteilt werden.
Elastomere	Schwach vernetzte Kunststoffe nennt man Elastomere. Typische Elastomerformteile, die im Spritzgießverfahren hergestellt werden, sind Faltenbälge, Dämpferelemente in Pkw, Dichtungen sowie Formschläuche.
Duroplaste	Duroplaste, also stark vernetzte Kunststoffe, werden ebenfalls im Spritzgießverfahren verarbeitet. Sie werden unter anderem im Automobilbereich eingesetzt. Ein weiteres wichtiges Anwendungsgebiet für Duroplastbauteile findet sich in der Elektroindustrie. Hier werden die nichtleitenden Eigenschaften von Kunststoffen und die Wärmebeständigkeit von Duroplasten zum Auswahlkriterium für den Einsatz dieser Werkstoffgruppe.

■ Spritzgießen – ein diskontinuierlicher Einstufenprozess

Urformverfahren	Nach DIN 8580 werden die Fertigungsverfahren in 6 Hauptgruppen unterteilt. Das Spritzgießen ist der Hauptgruppe 1, dem Urformen zugeordnet. Es eignet sich insbesondere für Massenartikel, da der Rohstoff in meist einem Arbeitsgang in ein Fertigteil umgewandelt wird. Die Nacharbeit ist gering bzw. kann ganz entfallen und selbst komplizierte Formen und Konturen können in einem Arbeitsgang gefertigt werden.
ideales Verfahren	Deshalb ist das Spritzgießen ein ideales Fertigungsverfahren. Dies gilt jedoch mit der Einschränkung, dass große Stückzahlen gefertigt werden, denn das Spritzgießwerkzeug ist nicht universell einsetzbar. Aus der Urformtechnologie resultiert der Zusammenhang, dass das Werkzeug nur für ein Formteil eingesetzt werden kann. Für jede neue Formteilgeometrie muss ein neues Werkzeug hergestellt werden.
Fertigungsprozess	Der Fertigungsprozess läuft für thermoplastische Kunststoffe wie folgt ab: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Über den Trichter auf der Maschine wird das Material eingefüllt. ▪ Im beheizten Zylinder wird das Material durch die rotierende Schnecke weitertransportiert, aufgeschmolzen und durchmischt.

- Anschließend wird die aufgeschmolzene Formmasse unter hohem Druck in das Werkzeug eingespritzt.
- Die Formmasse kühlt im temperierten Werkzeug ab und gewinnt somit die für die Entformung notwendige Formstabilität.
- Das Formteil wird nun entformt, ein neuer Spritzgießzyklus kann beginnen.

Die Teile, die beim Spritzgießen hergestellt werden, können eine sehr hohe Genauigkeit haben, die bis zu 1/100 mm betragen und in Spezialanwendungen sogar darüber hinaus gehen kann. hohe Genauigkeit

Bei der Compact Disc sind die gespeicherten Informationen als kleinste Vertiefungen in die Oberfläche eingelassen. Diese Vertiefungen, die beim Spritzgießprozess direkt abgebildet werden, sind nur wenige Mikrometer (10^{-6} m) breit und tief. CD

■ Spritzgießen – Spritzgießmaschine und Spritzgießwerkzeug

Zum Spritzgießen benötigt man zwei Hauptbausteine:

Hauptbausteine

- die Spritzgießmaschine und
- das Spritzgießwerkzeug.

Die Spritzgießmaschine wird wiederum unterteilt in die folgenden Komponenten:

Spritzgießmaschine

- die Plastifizier- und Spritzeinheit,
- die Schließeinheit,
- die Steuerung (Hydraulik, Elektrik).

Für unterschiedliche Spritzgussteile benötigt man unterschiedliche Werkzeuge. Zur Produktion eines anderen Teils muss somit das komplette Werkzeug gewechselt werden. Werkzeug

Werkzeug

Im Spritzgießverfahren können Formteile aus Kunststoff vollautomatisch und in hohen Stückzahlen, wirtschaftlich hergestellt werden (zum Beispiel Haushaltsgeräte, bestimmte Baugruppen im Automobilbereich, CD, Medizintechnik). wirtschaftliche Fertigung

wirtschaftliche
Fertigung

Sollen Teile, die bislang aus klassischen Werkstoffen wie Holz oder Metall gefertigt wurden, im Spritzgießverfahren hergestellt werden, so müssen die besonderen Merkmale der Kunststoffe und die Besonderheiten des Fertigungsverfahrens Spritzgießen berücksichtigt werden. Diese kunststoffgerechte Vorgehensweise verlangt ein grundsätzliches Verständnis des Herstellungsverfahrens sowie des Werkstoffverhaltens. Mit diesem Buch soll ein erster einführender Überblick über das Thema Spritzgießen gegeben werden. Besonderheiten

Besonderheiten

Wir wollen dabei ein seit langer Zeit etabliertes Spritzgussteil auf seinem Weg verfolgen vom Ausgangsmaterial, dem anforderungsgerechten Werkstoff, über seine Herstellung im Spritzgießverfahren, seinem Gebrauch bis hin zu den Recyclingmöglichkeiten. Dieses Teil wird die Compact-Disc (CD) sein, die als bewährtes High-Tech-Produkt Compact-Disc (CD)

Compact-Disc (CD)

besonders geeignet ist, die moderne Kunststoffverarbeitung und die Spritzgießtechnologie als Beispiel zu begleiten. Das folgende Bild zeigt eine CD mit ihren Abmessungen.

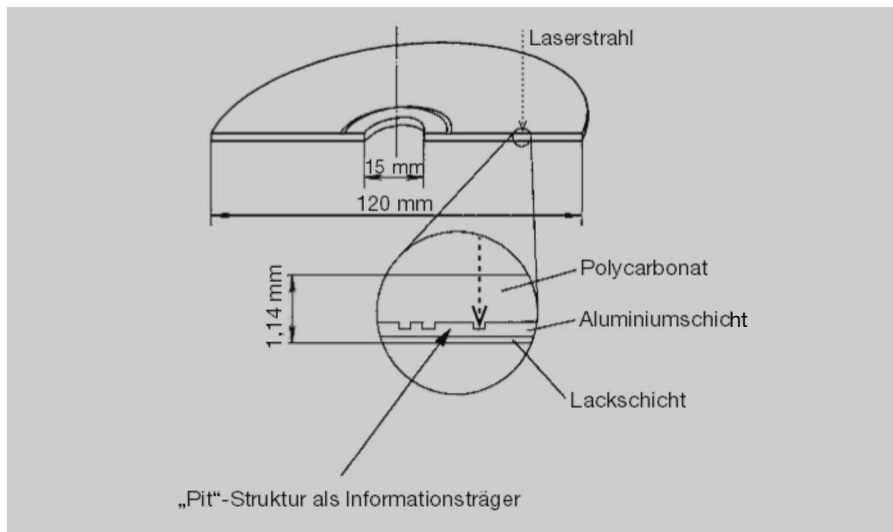


Bild 1 Compact-Disc (CD) und deren Abmessungen

Die modernen Geschwister der CD, beispielsweise die DVD (Digital Versatile Disc), die HD-DVD oder die sogenannte BluRay-Disc werden nicht im klassischen Spritzgießverfahren hergestellt. Durch den mehrschichtigen Aufbau müssen deutlich dünnere Scheiben spritzgeprägt (vgl. Abschnitt 11.3) werden, die in einem weiteren Schritt miteinander verklebt werden.

Kunststoffe besitzen unterschiedliche Materialeigenschaften, die auf ihr Verhalten beim Verarbeiten, wie zum Beispiel dem Spritzgießen, entscheidenden Einfluss haben.

Gruppen

Man unterscheidet drei große Gruppen von Kunststoffen, die in Bild 1.1 aufgeführt und mit Beispielen belegt sind.

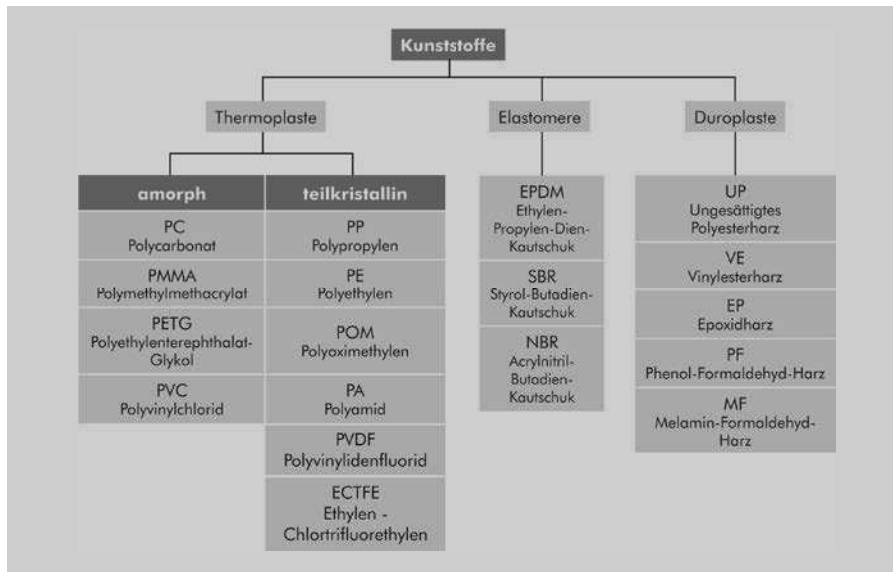


Bild 1.1 Einteilung der Kunststoffe

Thermoplaste

Thermoplaste (thermos = warm; plasso = bilden, bildsam) sind schmelzbare Kunststoffe. Sie können mehrfach wieder eingeschmolzen werden. Sie sind in vielen Lösungsmitteln löslich oder zumindest quellbar. Sie sind weiter bei Raumtemperatur zähweich bis hartzäh oder hartspröde. Thermoplaste machen mengenmäßig den größten Kunststoffanteil aus.

amorpher/teilkristalliner Thermoplast

Man unterscheidet zwischen amorphen (amorph = ungeordnet) Thermoplasten, die im molekularen Ordnungszustand dem Glas ähneln, und teilkristallinen Thermoplasten, die ein milchig-opakes Aussehen haben. Wenn ein Kunststoff durchsichtig wie Glas ist, kann man mit ziemlicher Sicherheit sagen, dass es sich hierbei um einen amorphen Thermoplasten handelt.

CD-Hülle

Zur Verpackung der CD gibt es unterschiedliche Behältnisse aus unterschiedlichen Materialien. Die am meisten verbreitete Hülle für die CD ist aus Kunststoff (die sogenannte Jewel-Box). Der Deckel der Hülle einer CD wird aus einem amorphen Kunststoff hergestellt, denn er soll ja durchsichtig sein, um das Titelverzeichnis lesen zu können. Wenn die Hülle farbige werden soll, kann man auch den durchsichtigen Werkstoff sehr leicht einfärben. Der Kunststoff, aus dem die CD hergestellt ist, ist auch glasklar und damit durchsichtig. Die CD wird von einer Seite jedoch mit einer Reflexionsschicht bedampft – meistens Aluminium, aber auch Gold kommt zur Anwendung – und dann bedruckt. Die Aluminiumschicht bzw. die Goldschicht wirkt wie ein Spiegel, sodass der Laserstrahl nicht durch die CD hindurch geht, sondern reflektiert wird (Bild 1.2).

■ 1.2 Formänderungsverhalten von Kunststoffen

Zustandsbereiche von Thermoplasten

Kunststoffe zeigen bei Erwärmung ein unterschiedliches Verhalten. Es ist von verschiedenen Faktoren, wie zum Beispiel dem chemischen Aufbau der Moleküle oder von der Art der zwischenmolekularen Bindungskräfte, abhängig.

plastischer Zustand

Spritzgießen ist ein Urformverfahren. Das heißt, der Kunststoff muss sich in einem plastischen Zustand befinden, damit er verarbeitet werden kann. Diesen Verarbeitungszustand bezeichnet man als zähviskoses Fließen. Der Kunststoff liegt in den meisten Fällen als Granulat, manchmal auch als Pulver vor und wird durch Erwärmung in den plastischen Zustand überführt, der die anschließende Formgebung ermöglicht.

Formänderungsverhalten

Das Verhalten von Kunststoffen bei Erwärmung, das man als Formänderungsverhalten bezeichnet, soll nun am Beispiel eines amorphen Thermoplasten (Bild 1.3) gezeigt werden.

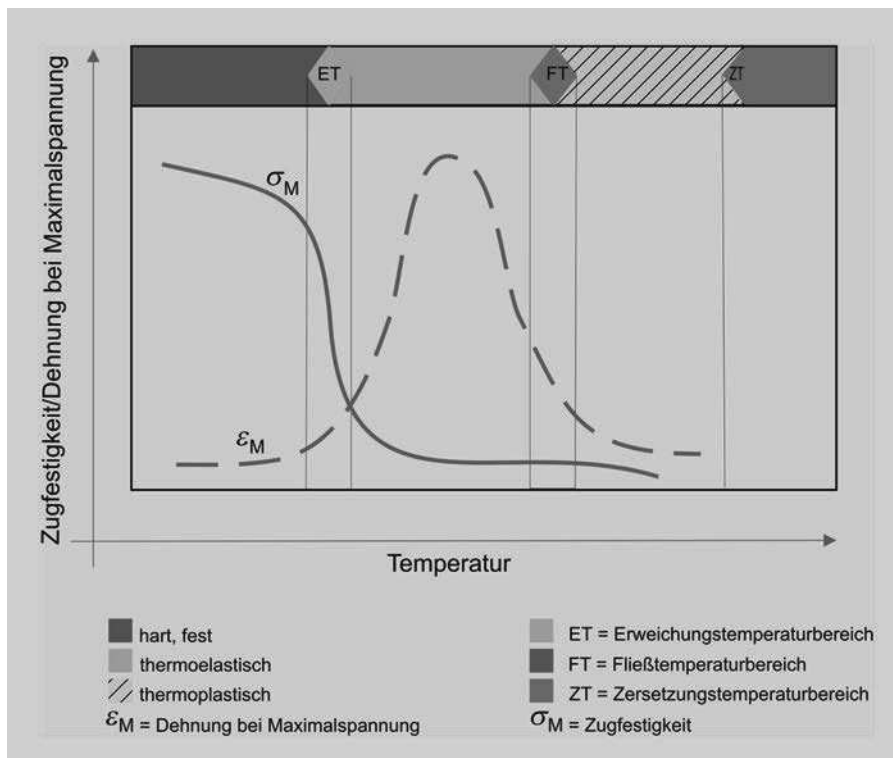


Bild 1.3 Formänderungsverhalten amorpher Thermoplaste

■ 1.4 Kunststoffschmelze

1.4.1 Viskosität

Viskosität
Fließwiderstand

Beim Spritzgießvorgang befindet sich der Kunststoff im thermoplastischen Zustand, er ist dann viskos (zähflüssig). Die Viskosität einer Flüssigkeit ist ein Maß für den inneren Fließwiderstand oder die Zähflüssigkeit. Für eine sogenannte Newtonsche Flüssigkeit, wie es Wasser ist, wird die Zähflüssigkeit definiert (Gleichung 1.1).

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (1.1)$$

η [Pa·s] = Viskosität
 τ [N/mm²] = Schubspannung
 $\dot{\gamma}$ [1/s] = Schergeschwindigkeit

Zähflüssigkeit

Um zu veranschaulichen, was Zähflüssigkeit bedeutet, stellt man sich zwei gleich große Becher vor, die jeweils im Boden ein verschlossenes Loch mit gleichem Durchmesser haben. Füllt man in den einen Becher Wasser und in den anderen einen zähflüssigen Lack und öffnet gleichzeitig die Löcher, so benötigt der Lack wesentlich mehr Zeit um auszufließen als die gleiche Menge Wasser. Man erkennt, dass der Lack zähflüssiger ist als Wasser. Besitzt eine Flüssigkeit eine besonders hohe Viskosität, so ist sie besonders zähflüssig.

1.4.2 Schubspannung und Schergeschwindigkeit

Geschwindigkeitsprofil

Eine Flüssigkeit, die durch ein Rohr strömt, besitzt in der Mitte des Rohres die höchste Geschwindigkeit. Von der Rohrmitte zur Rohrwand hin nimmt die Fließgeschwindigkeit ab, bis sie schließlich aufgrund von Wandhaftung an der Rohrwand Null wird. Es entsteht ein Geschwindigkeitsprofil. Man kann sich eine fließende Flüssigkeit also so vorstellen, als gäbe es eine ganze Reihe von Flüssigkeitsschichten, die mit verschiedenen Fließgeschwindigkeiten strömen (Bild 1.5).

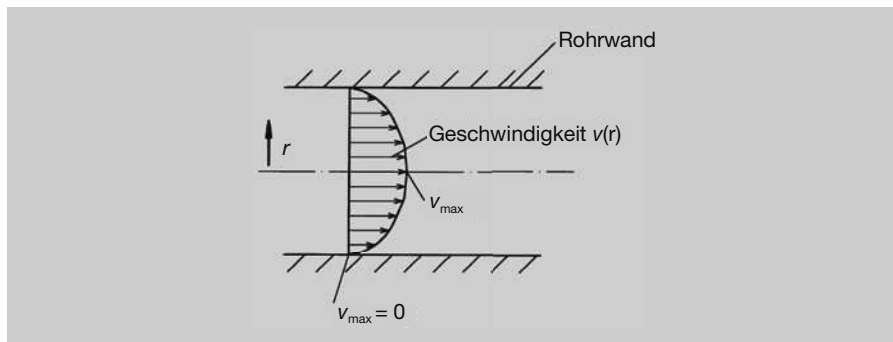


Bild 1.5 Geschwindigkeitsprofil einer strömenden Flüssigkeit in einem Rohr
 v = Geschwindigkeit in m/s, r = Radius in mm

Tabelle 1.3 Wichtige Materialkennwerte

Nr.	Chemische Bezeichnung Zusammensetzung	Kurzzeichen DIN 7728	Dichte in g/cm ³	Verarbeitungs- temperatur in °C	Fließfähigkeit l = leicht m = mittel s = schwer			Verarbeitungs- schwindung in % v = glasfaser- verstärkt
1	Polystyrol	PS	1,05	180 bis 280	l			0,3 bis 0,6
2	Styrol-Butadien- Copolymere	SB	1,05	180 bis 280	l			0,4 bis 0,7
3	Styrol-Acrylnitril- Copolymere	SAN	1,07	200 bis 280		m		0,4 bis 0,7; 0,1 bis 0,3 v
4	Acrylnitril- Butadien-Styrol- Copolymere	ABS	1,06 bis 1,12	210 bis 270		m	s	0,4 bis 0,7 0,2 bis 0,4 v
5	Polyethylen	PE	0,81 bis 0,87	180 bis 270 240 bis 300	l	m	s	1,2 bis 2,8; 1,2 bis 2,5
6	Polymethyl- methacrylat	PMMA	1,18	170 bis 240		m		0,3 bis 0,7
7	Polyamid	PA	1,04 bis 1,15	230 bis 290	l			0,7 bis 2,0; 0,2 bis 0,8 v
8	Cellulose-Acetat	CA	1,31	180 bis 230	l			0,4 bis 0,7
9	Polycarbonat	PC	1,20	280 bis 320			s	0,6 bis 0,8; 0,2 bis 0,5 v
10	Polyvinylchlorid hart	PVC-U	1,38	180 bis 210			s	0,4 bis 0,7
11	Polyoxymethylen	POM	1,41	180 bis 230		m		1,8 bis 3,0; 0,2 bis 0,6 v
12	Polypropylen	PP	0,91	240 bis 300		m	s	0,5 bis 1,2 v

Verarbeitungs-
temperaturbereich

Aus der Tabelle 1.3 kann man ersehen, dass manche Kunststoffe einen sehr engen, andere einen sehr weiten Verarbeitungstemperaturbereich haben. Zum Beispiel kann PVC-U nur in sehr engen Temperaturbereichen (190 bis 210 °C) verarbeitet werden, wogegen sich POM zwischen 180 und 230 °C verarbeiten lässt (vgl. 10 und Nr. 11 in Tabelle 1.3).

CD-Materialkennwerte
(PC)

Der folgenden Tabelle 1.4 kann man die Materialeigenschaften von PC, aus der die CD gefertigt wird, und die Einstellparameter der Spritzgießmaschine zur Verarbeitung entnehmen.

Die in der Tabelle verwendeten Begriffe werden in den folgenden Lektionen noch näher erläutert.

CD

Man erkennt, dass viele Faktoren zu beachten sind, um gute Formteile herzustellen. Die Verarbeitungswerte haben zudem noch einen großen Streubereich. Für die Herstellung der CD wird ein sehr niedrigviskoses PC verwendet, dessen Verarbeitungstemperaturbereich zwischen 320 und 360 °C liegt. Die niedrige Viskosität ist nötig, damit der Kunststoff die feine Geometrie der Informationsseite der CD („pits“), die im Genauig-

■ 1.5 Erfolgskontrolle zur Lektion 1

Nr.	Frage	Antwortauswahl
1	Es werden drei große Klassen von Kunststoffen unterschieden, die Duroplaste, Thermoplaste und _____.	<i>Monomere</i> <i>Synthese</i> <i>Elastomere</i>
2	Thermoplaste sind löslich und _____.	<i>stark vernetzt</i> <i>schmelzbar</i> <i>nicht schmelzbar</i>
3	Amorphe Thermoplaste sind _____, wenn keine Füllstoffe und ähnliche Zusätze verwendet werden.	<i>glasklar</i> <i>milchig-opak</i>
4	Der Werkstoff der Compact-Disc muss aus einem durchsichtigen Kunststoff sein. Er ist deshalb ein _____ Thermoplast.	<i>amorpher</i> <i>teilkristalliner</i>
5	Die Compact Disc wird aus _____ hergestellt.	<i>Polycarbonat</i> <i>Polyamid</i> <i>Polyvinylchlorid</i>
6	Duroplaste sind nicht schmelzbar und _____.	<i>schwach vernetzt</i> <i>stark vernetzt</i>
7	Die zwischenmolekularen Kräfte, die in kristallinem Zustand wirken, sind wesentlich _____ als die Kräfte des amorphen Zustandes.	<i>kleiner</i> <i>größer</i>
8	Das Kurzzeichen nach DIN 7728 für Polyamid ist _____.	<i>PS</i> <i>PA</i> <i>PC</i>
9	Die Viskosität ist ein Maß für die _____ einer Schmelze.	<i>Rauigkeit</i> <i>Zähflüssigkeit</i>
10	Mit fallender Temperatur _____ die Viskosität einer Kunststoffschmelze.	<i>steigt</i> <i>fällt</i>
11	Spritzgießen bezeichnet man als _____-Verfahren.	<i>Umform</i> <i>Urform</i>
12	Das Spritzgießen geschieht in einem Zustandsbereich, den man als _____ bezeichnet.	<i>thermoplastisch</i> <i>thermoelastisch</i>

■ 7.2 Start

Maschine

Will man mit der Produktion eines Formteils beginnen, so muss man zunächst alle Baugruppen der Maschine in ihren Startzustand versetzen. Bild 7.3 zeigt die Maschine und ihre Baugruppen in dem Zustand, der den Start der Produktion ermöglicht.

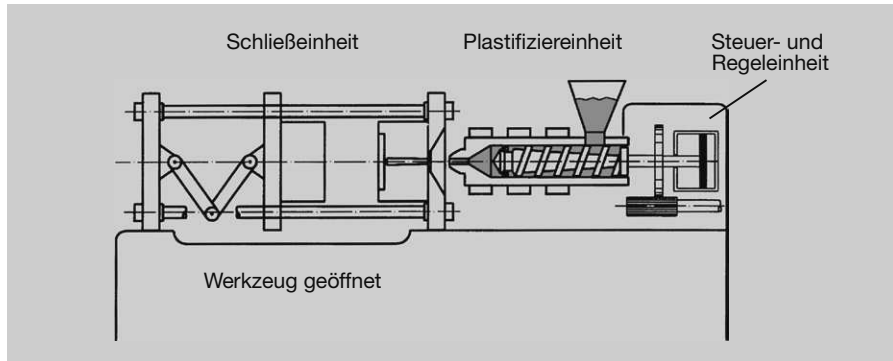


Bild 7.3 Spritzgießmaschine und ihre Baugruppen: Startstellung

7.2.1 Werkzeug und Schließeinheit

Das Werkzeug ist geöffnet, es befindet sich kein Formteil im Formnest des Werkzeugs, die Auswerfer sind zurückgezogen. Das Werkzeug ist auf die vorgeschriebene Temperatur temperiert.

7.2.2 Plastifiziereinheit

Schnecke und Zylinder

Schnecke und Zylinder der Plastifiziereinheit sind auf die vorgeschriebene Temperatur aufgeheizt, die Schnecke ist zurückgezogen, vor der Schnecke im Schneckenorraum befindet sich plastifiziertes, aufgeschmolzenes Material. Die Düse ist verschlossen, so dass kein Material austreten kann.

7.2.3 Steuerung

Fehlermeldung

Die Steuerung ist im Zustand Halbautomatik – wenn ein einzelner Zyklus ablaufen soll – oder Vollautomatik – wenn eine quasi unbegrenzte Zahl von Zyklen ablaufen soll. Der Maschinenbediener muss den Ablauf per Tastendruck starten. Meist kann der Ablauf auch nur dann gestartet werden, wenn alle Baugruppen der Maschine sich im Startzustand befinden. Ist das nicht der Fall, gibt die Steuerung eine entsprechende Fehlermeldung aus oder stellt den Startzustand automatisch her.

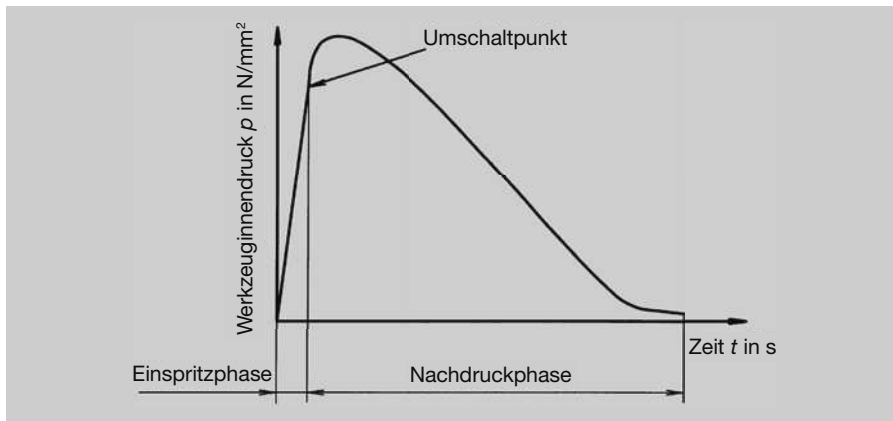


Bild 7.7 Idealverlauf für den Druck im Werkzeug

Für den Einrichter einer Spritzgießmaschine sind solche Werkzeuginnendruckkurven eine sehr gute Hilfe zum Finden der optimalen Zeiten und Drücke in der Einspritz- und Nachdruckphase. Anhand einer solchen Kurve kann man sehr viele Aussagen über die Qualität der Produktion und der Formteile machen.

Wichtig ist insbesondere der richtige Zeitpunkt des Umschaltens zwischen Einspritz- und Nachdruckphase. Bild 7.8 zeigt einige Beispiele für fehlerhafte Werkzeuginnendruckkurven. Schaltet man zu früh um, ergibt sich ein Druckeinbruch. Es besteht die Gefahr, dass das Formnest nicht vollständig gefüllt werden kann. Schaltet man zu spät um, entsteht eine Druckspitze, die auf Dauer zu Schäden am Werkzeug und Maschine führen kann.

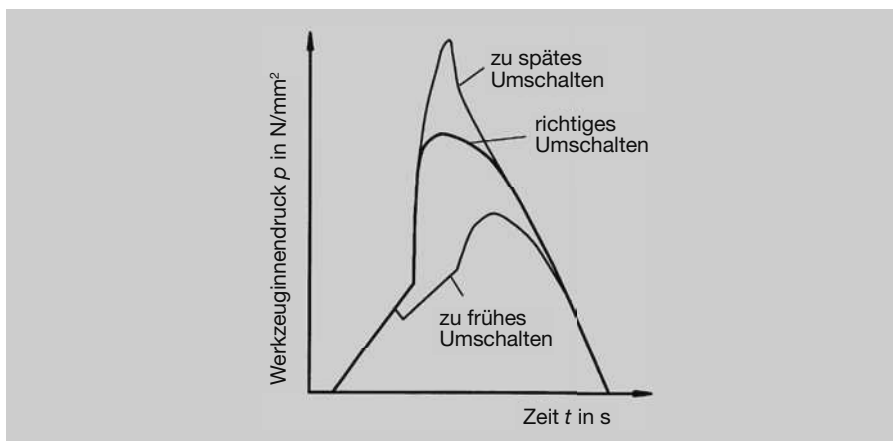


Bild 7.8 Fehlerhafte Werkzeuginnendruckkurven

7.5.1 Kühlzeitgleichung

Kühlzeitgleichung

Als einfache Näherung, die den Wärmetransport im Formteil während des Abkühlvorgangs im Spritzgießwerkzeug beschreibt, wurde die sogenannte Kühlzeitgleichung hergeleitet:

$$t_k = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{\text{eff}}} \cdot \ln \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{T_M - T_W}{T_E - T_W} \right) \quad (7.1)$$

t_k in s = Kühlzeit, die berechnet werden soll
 s in mm = Dicke des Formteils
 T_M in K = Massetemperatur der Formmasse zu Beginn des Einspritzvorgangs
 T_W in K = Werkzeugtemperatur
 T_E in K = Entformungstemperatur (angenommene Temperatur in der Mitte des Formteils, bei der das Formteil entformt werden soll)
 a_{eff} in mm^2/s = Werkstoffkenngröße, die den Wärmetransport in der Formmasse beschreibt

Für Überschlagsrechnungen gibt es eine Formel, mit der man die Kühlzeit grob abschätzen kann:

$$t_k \approx 2 \cdot s^2 \quad (7.2)$$

t_k in s = Kühlzeit
 s in mm = Wanddicke des Formteils

Als Wanddicke wird die größte Wanddicke des Formteils eingesetzt, da diese zykluszeitbestimmend ist.

CD/DVD

Eine CD/DVD mit einer Wanddicke von 1,14 mm hat nach der Handformel eine Kühlzeit von ca. 2,6 Sekunden. Siehe hierzu auch in Abschnitt 8.3 „Thermische Werkzeugauslegung“.

7.5.2 Werkzeug und Schließeinheit

Der Zustand von Werkzeug und Schließeinheit in der Abkühlphase entspricht dem in der Nachdruckphase.

7.5.3 Plastifiziereinheit

Während der Kühlzeit wird in der Plastifiziereinheit Material für den nächsten Schuss vorbereitet. Die ausführliche Beschreibung der Vorgänge im Plastifizieraggregat in dieser Phase erfolgt im Abschnitt „Dosierphase“.