

HANSER

Leseprobe

Walter Michaeli

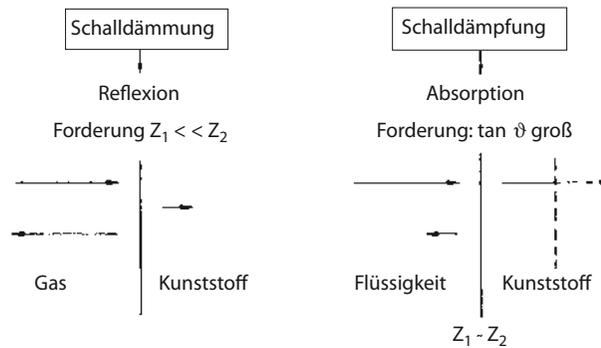
Einführung in die Kunststoffverarbeitung

ISBN: 978-3-446-42488-3

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-42488-3>

sowie im Buchhandel.



Z = Impedanz, $\tan \vartheta$ = Verlustfaktor

Bild 4.18 Schalldämmung und Schalldämpfung an Kunststoffen

Ultraschall Beim *Ultraschallschweißen* ist es erforderlich, die Energie der Schallwellen ohne große Verluste an die Fügefläche zu bringen und hier in Wärme umzuwandeln. Dies bedeutet, dass sich mit diesem Verfahren Werkstoffe mit hohem E-Modul und geringem Verlustfaktor leichter schweißen lassen. Die Umwandlung der angeregten Schwingung in Wärme wird teilweise durch *Reibungsverluste* in der Fügefläche bewirkt. Einen anderen wesentlichen Teil liefert die innere Werkstoffdämpfung, wobei dieser Effekt durch eine geeignete Formgebung des fügezonennahen Bereiches der Fügeteile auf die direkte Umgebung der Fügezone konzentriert wird. Die aufgeschmolzenen Zonen absorbieren besonders stark die Schallenergie wegen des im Allgemeinen mit der Temperatur ansteigenden Verlustfaktors. Generell kann festgestellt werden, dass sich amorphe Thermoplaste leichter schweißen lassen als teilkristalline.

4.7 Verhalten gegen Umwelteinflüsse

4.7.1 Widerstandsfähigkeit gegen Medien

Diffusion Bei der Einwirkung von Chemikalien auf Kunststoffe spielt das *Eindiffundieren* (von Komponenten) des Mediums in den Werkstoff eine weit größere Rolle als bei der Korrosion von Metallen, bei der die Vorgänge vorwiegend auf die oberflächennahen Bereiche beschränkt bleiben. Auch ohne chemische Reaktion kann daher ein flüssiges Medium eine Veränderung der Eigenschaften des Kunststoffes herbeiführen.

Beständigkeit Die *Widerstandsfähigkeit* gegen chemischen Angriff wird in erster Linie durch den chemischen Aufbau des Kunststoffs bestimmt. Hochpolymere Werkstoffe, deren Makromoleküle aus Kohlenwasserstoffketten bestehen (PE, PIB) sind gegen Säuren, Basen und schwache Oxidationsmittel sehr beständig. Mit der Einführung von Substituenten in die Polyethylenkette – Hydroxyl-, Acetyl- oder andere funktionelle Gruppen – verringert sich jedoch die *Chemikalienbeständigkeit*. Ist der Wasserstoff der Polyethylenkette dagegen durch Fluor ersetzt, so ergibt sich die bisher von keinem anderen Kunststoff übertroffene Beständigkeit des Polytetrafluorethylens (PTFE) gegen praktisch alle chemischen *Agenzien*. Prinzipiell kann jeder chemische Angriff *irreversible Veränderungen* der Kunststoffmoleküle bewirken, wie Kettenabbau, Vernetzung, Änderungen in der chemischen Zusammensetzung der Molekülketten, z. B. Oxidation usw.

Die Wirkungsweise physikalisch aktiver Medien beruht auf einer Aufweitung des Molekülverbandes (äußerlich als Quellung erkennbar). Dadurch wird die Beweglichkeit der Makromoleküle erhöht, Härte und Festigkeit nehmen ab, die elektrischen und andere physikalische Eigenschaften verändern sich. Der Grad der Eigenschaftsänderung hängt mit der *Polarität* von Werkstoff und Medium zusammen („Gleiches löst Gleiches“):

Wirkung

- Nichtpolare Polymere wie PS, PE, PIB quellen oder lösen sich in nichtpolaren *Lösungsmitteln* (z. B. Benzin, Benzol), während sie gegen polare Lösungsmittel (Wasser, Alkohol) beständig sind.
- Polymere, die polare Gruppen enthalten, wie Polyvinylalkohol, Polyamid u. a., sind gegen nichtpolare Substanzen beständig, quellen oder lösen sich dagegen in polaren Stoffen.

Bei der Ermittlung der Widerstandsfähigkeit gegen Medien werden Probekörper ohne äußere mechanische Belastung in diesen gelagert. Nach steigenden Lagerungszeiten werden bestimmte Eigenschaftsänderungen ermittelt und die Ergebnisse pauschal zusammengefasst in Bewertungsmaßstäben wie z. B. beständig, bedingt beständig und unbeständig (Tabelle 4.1). Diese Klassifizierung gibt natürlich nur einen groben Anhalt über die Verwendbarkeit eines Kunststoffes für einen speziellen Fall. Eine Erprobung unter Praxisbedingungen ist in vielen Fällen unerlässlich.

Lagerung

4.7.2 Spannungsrisssbeständigkeit

Bei Metallen ist die Erscheinung der *Spannungskorrosion* allgemein bekannt. Sie führt bei gleichzeitiger Einwirkung bestimmter Medien und Zugspannungen zur verformungslosen Trennung mit *inter-* oder *transkristallinem* Verlauf. Die Ursachen sind meist elektrochemischer Art.

Metalle

Auch bei Kunststoffen tritt diese Brucherscheinung unter der kombinierten Einwirkung innerer *Orientierungs-* oder *Abkühlspannungen* (herstellbedingt) oder/und äußerer Zugspannungen und bestimmter Flüssigkeiten oder Dämpfe auf. Da es sich hierbei jedoch meist um rein physikalische Prozesse (Benetzung, Diffusion, Quellung) handelt, werden diese Erscheinungen mit *Spannungsrisssbildung* bezeichnet (kein Korrosionsprozess).

Spannungs-
korrosion

Tabelle 4.1 a) Widerstandsfähigkeit einiger Thermoplaste bei Raumtemperatur

	Säuren			Laugen		Kohlenwasserstoffe			Fette, Öle
	schwach	stark	oxydierend	schwach	stark	aliphatisch	chloriert	aromatisch	
Polyethylen hoher Dichte	+	+	-	+	+	+	-	o	+
Polypropylen	+	-	-	+	+	+	-	o	+
PVC-U	+	o	-	+	+	+	-	-	+
PVC-P	+	+	-	+	o	-	-	-	o
Polymethylmethacrylat	+	o	o	+	o	+	-	-	+
Polystyrol	+	o	-	+	+	o	-	-	+
Polytetrafluorethylen	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Polyamid	-	-	-	+	o	+	o	+	+
Polycarbonat	+	+	o	-	-	+	-	-	+

+ = beständig o = bedingt beständig - = unbeständig

Tabelle 4.1 b) Widerstandsfähigkeit einiger Duroplaste bei Raumtemperatur

	Säuren			Laugen		Kohlenwasserstoffe			Fette, Öle
	schwach	stark	oxydierend	schwach	stark	aliphatisch	chloriert	aromatisch	
UP-Harze	o	-	-	+	+	+	o	-	+
EP-Harze	+	-	-	+	o	+	o	+	+
vernetzte Polyurethane	o	-	o	+	-	+	o	+	o
elastische Polyurethane	+	-	-	o	o	+	-	-	+
Silikonharze	+	-	-	+	+	o	-	o	+
Harnstoffharz-Pressmasse	o	-	-	+	o	+	+	+	+
Melaminharz-Pressmasse	o	-	-	+	-	+	+	+	+
Phenolharz-Pressmasse	+	-	-	+	-	+	+	+	+

+ = beständig o = bedingt beständig - = unbeständig

Rissbildung Fast alle Thermoplaste zeigen bei bestimmten Medien Spannungsrissbildung, wobei folgende Faktoren das Ausmaß noch erhöhen:

- höhere Zugspannung,
- längere Einwirkdauer,
- höhere Temperatur,
- höhere Kristallinität,
- geringeres Molekulargewicht.

Spannungsrisse In der Praxis treten Spannungsrisse häufig dann auf, wenn Formteile nachträglich mit ungeeigneten Klebstoffen verbunden oder mit lösungsmittelhaltigen Farben bedruckt werden bzw. im Einsatz mit spannungsrissauslösenden Medien in Kontakt kommen.

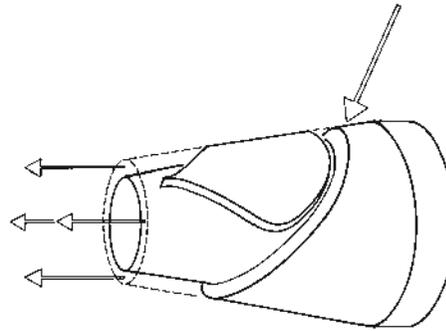
Besonders deutlich sind Spannungsrisse bei ungefüllten, glasklaren Kunststoffen wie PS, SAN, PMMA und PC zu erkennen.

4.7.3 Diffusion und Permeation

Durchlässigkeit Kunststoffe sind wegen ihrer niedrigen Dichte für Gase und Flüssigkeiten verhältnismäßig durchlässig. Der Stofftransport – auch *Permeation* genannt – besteht aus den Teilprozessen:

- Aufnahme des diffundierten Stoffes in der Grenzfläche (*Adsorption*),
- Diffusion des angreifenden Mediums durch den Stoff,
- Abgabe des diffundierenden Stoffes an der gegenseitigen Oberfläche (*Desorption*) und Abtransport des diffundierten Stoffes.

Permeation Von besonderem Interesse ist das Permeationsverhalten gegenüber niedermolekularen Stoffen bei der Anwendung von Kunststoffen als Verpackungsmaterial, Kraftstoffbehälter, Fußbodenheizungsrohr und dergleichen.



Einsatz: Blasformen, Ummantelung

- keine Berechnung möglich
- Bindenähte
- Betriebspunktabhängigkeit
- + kurze Bauweise

Bild 6.15 Prinzipdarstellung einer Pinole mit Herzkurvenverteiler

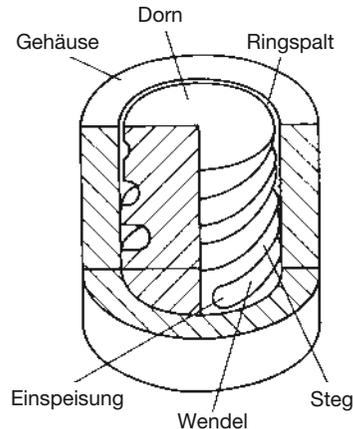


Bild 6.16 Wendelverteiler

6.1.2.2 Nachfolgeeinrichtungen

Kalibrierung und
Kühlung

Die das Extrusionswerkzeug verlassende Schmelze muss in ihrer Form und Abmessung fixiert werden. Dies geschieht bei der Extrusion von Profilen in der sogenannten Kalibrierung mit Hilfe von Druckluft oder Vakuum. Das Extrudat wird dadurch an die Kalibratorwände angedrückt und abgekühlt. Mit dem Verlassen der Kalibrierung muss es soweit erstarrt sein, dass es sich in der anschließenden Kühlstrecke nicht mehr verformen kann und seine Abmaße beibehält. Die Länge der Kalibrierstrecke muss daher dem Durchsatz und der Geometrie des Extrudats angepasst sein.

Flachfolien werden dagegen nach dem Verlassen des Werkzeugs in einem sogenannten Walzenstuhl abgekühlt, der auch für die Kalibrierung sorgt. Um das Extrudat durch den Kalibrator zu ziehen, bedarf es erheblicher Abzugskräfte. Um diesen ohne Verformung standzuhalten, reicht die Kühlung im Kalibrator meist nicht aus. Von daher schließt sich an den Kalibrator normalerweise eine Kühlstrecke an.

Für Profile, Rohre, Kabel und dergleichen verwendet man Wasserbäder, die vom Extrudat durchlaufen werden. Flächige Extrudate werden durch Walzen abgekühlt. Gebräuchlich sind auch Wasser-

sprüh- und Luftkühlungen. Die Länge richtet sich auch hier nach Durchsatz und Geometrie des Extrudats. An die Kühlung schließen sich Abzugseinrichtungen an, deren Aufgabe es ist, das Extrudat mit gleichbleibender Geschwindigkeit vom Werkzeug (durch Kalibrator und Kühlung) abziehen. Dazu dienen verschiedene Bauformen von Abzügen, wie Band-, Rollen- oder Raupenabzüge.

Elastische Extrudate werden hinter dem Abzug auf Trommeln oder Spulen aufgewickelt (Kabel, Fäden, Folien, Schläuche, etc.). Starre Extrudate (Rohr, Tafeln, Profile, etc.) werden mit Hilfe sogenannter Trennvorrichtungen wie Sägen oder Schlagscheren auf Länge geschnitten und anschließend gestapelt.

6.1.2.3 Anlagenbeispiele

Rohrextrusionsanlage

Die in Bild 6.1 gezeigte Anlage ist ein typisches Beispiel. Sie besteht aus dem Extruder und dem Werkzeug, in dem die Schmelze schlauchförmig ausgeformt wird. Daran schließen sich Kühlung bzw. Kalibrierung, Raupenabzug und Trennvorrichtung an.

Tafel-Extrusionsanlage

Diese Anlagen (Bild 6.17) bestehen aus Extruder und Breitschlitzwerkzeug. Daran schließt sich das sogenannte Glättwerk an. Dieses enthält normalerweise drei Walzen, mit deren Oberflächen bzw. Walzenspalten die Folie (Tafel) kalibriert und abgekühlt wird. Dahinter befindet sich eine Rollenbahn, die als Luftkühlstrecke dient sowie die Abzugswalzen. Anschließend wird die Tafel geschnitten und gestapelt.

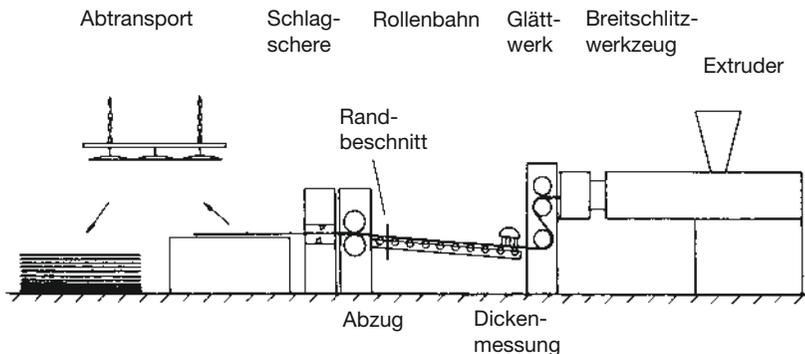


Bild 6.17 Tafelextrusionsanlage (Prinzip)

Blasfolienanlage

Um sehr breite und schlauchförmige Folien herstellen zu können, setzt man Blasfolienanlagen (Bild 6.18) ein. Diese bestehen aus Extrudern mit Blaskopf, normalerweise einem Wendelverteilerwerkzeug. Die senkrecht nach oben austretende Schlauchfolie passiert einen Kühlring, in dem sie mit Luft abgekühlt wird. Durch Luftzuführung in das Innere der Schlauchfolie wird diese auf den gewünschten Umfang aufgeblasen. Am oberen Ende des Turmes wird sie dann in der Flachlegeeinrichtung zusammengefaltet und die Luft über Abquetschwalzen zurückgehalten. Anschließend wird die Folie auf Hülsen aufgewickelt. Zwischen Kühlring und Flachlegeeinrichtung kann ein sogenannter Kalibrierkorb gesetzt werden, der den Umfang der Blase definiert und die Folienblase stabilisiert.

Schlauchfolie

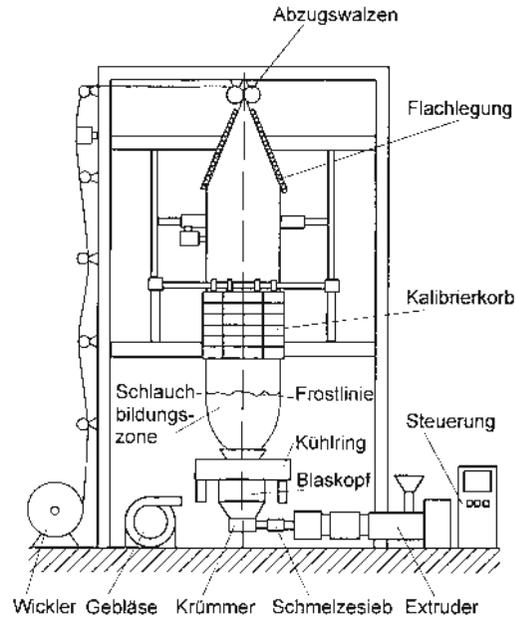


Bild 6.18 Blasfolienanlage

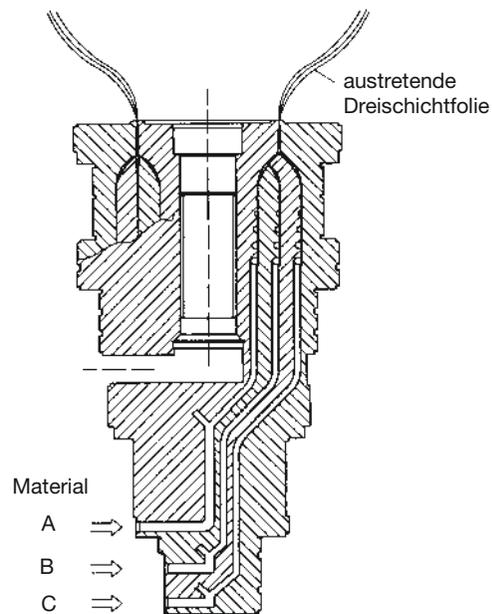


Bild 6.19 Dreischichten-Coextrusions-Blasfolienwerkzeug, reversierend und mit Innenkühlvorrichtung (Wittmann-Battenfeld)

6.1.3 Coextrusion

Aufgrund der vielfältigen Anforderungen, die heute an Extrudate gestellt werden, kann es sein, dass sich diese nicht von einem einzigen Material erfüllen lassen. Diesem Problem versucht man dann durch die Kombination zweier oder mehrerer Materialien gerecht zu werden, indem man einen Verbund herstellt. Mehrschichtige Kabelisierungen und Verpackungsfolien sind bekannte Beispiele.

Hierbei wird die Coextrusionstechnik eingesetzt. Dabei wird für jedes Material ein separater Extruder und Schmelzeverteiler benötigt, die dann im Coextrusionswerkzeug hintereinander bzw. ineinander montiert werden. Bild 6.19 zeigt ein Dreischicht-Blasfolienwerkzeug mit drei ineinander sitzenden Wendelverteilern zur Verteilung der Schmelzen. Im Bereich der Kunststoffverpackungen setzt man heute Verbünde aus bis zu sieben Schichten ein.

6.2 Extrusionsblasformen und Streckblasen

Hohlkörper aus thermoplastischen Kunststoffen werden heute überwiegend im Extrusionsblasformverfahren sowie im artverwandten Streckblasverfahren hergestellt. Die Bezeichnung *Hohlkörper* beschränkt sich dabei nicht nur auf Verpackungsartikel wie Flaschen, Kanister oder Fässer, sondern umfasst auch technische Teile wie z. B. Lüftungskanäle, Surfbretter, Kofferhalbschalen, Dachgepäckträger oder KFZ-Benzin-Tanks. Der Rauminhalt dieser Artikel reicht dabei von wenigen Millilitern (Arzneimittelverpackungen) bis hin zu derzeit maximal ca. 13 000 Litern (Heizöltank). Bild 6.20 ordnet die Verfahren anhand ihrer Merkmale ein.

Hohlkörper

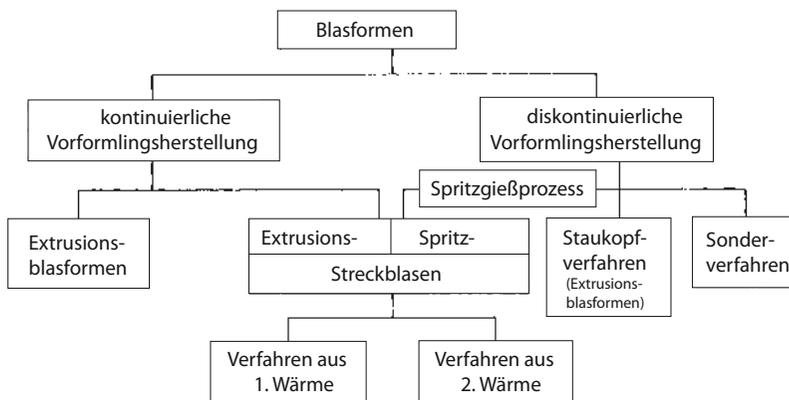


Bild 6.20 Übersicht über Blasformverfahren

6.2.1 Extrusionsblasformen

6.2.1.1 Der Verfahrensablauf

Die Produktherstellung beim Extrusionsblasformen setzt sich aus zwei parallel ablaufenden Prozessen zusammen:

- der *kontinuierlichen Vorformlingsextrusion* (Urformen) und
- der *zyklischen Vorformlingübernahme* und Formgebung mittels Blasluft im Werkzeug (Umformen).

Blasformen Bild 6.21 zeigt den Gesamtprozess in Einzelschritten. Der erste Schritt beginnt, wenn der extrudierte Schlauch die nötige Länge hat. Dann schließt sich das Werkzeug um diesen und ein Messer trennt den Schlauch ab. Anschließend bewegt sich das Werkzeug zur Blasstation. Dort taucht der Blasdorn ein und das eigentliche Blasformen findet statt, indem durch den Blasdorn Druckluft eingeleitet wird. Nach Ablauf der Kühlzeit öffnet sich das Werkzeug und der fertige Artikel wird entformt. Danach bewegt sich das Werkzeug erneut in die Position unterhalb des Umlenkkopfes, um einen neuen Vorformling zu übernehmen. Bei sehr großen und schweren Werkzeugen verzichtet man auf die Verfahrensbewegung und schneidet den Vorformling mit einem Greifer ab, der diesen dann zum Werkzeug transportiert.

Entformung Die Entformung und das Abtrennen der *Butzen* erfolgt meist automatisch. Unter Butzen sind Materialränder zu verstehen, die beim Schließen des Werkzeuges an den Quetschkanten entstehen. Je nach Gestalt des Formteils können von wenigen Prozenten bis zu einem Vielfachen (im Extremfall) des Formteilmaterialgewichts als Butzen anfallen. Daher versucht man, diese möglichst sofort Schneidmühlen zuzuführen, um sie dann als sogenanntes *Regenerat* wieder mit in den Extruder zu füttern.

Bei den verarbeiteten Materialien sind die Polyolefine (PE-HD, PE-LD, PP) am stärksten vertreten. Momentan hat auch PVC noch einen hohen Anteil, der jedoch rückläufig ist.

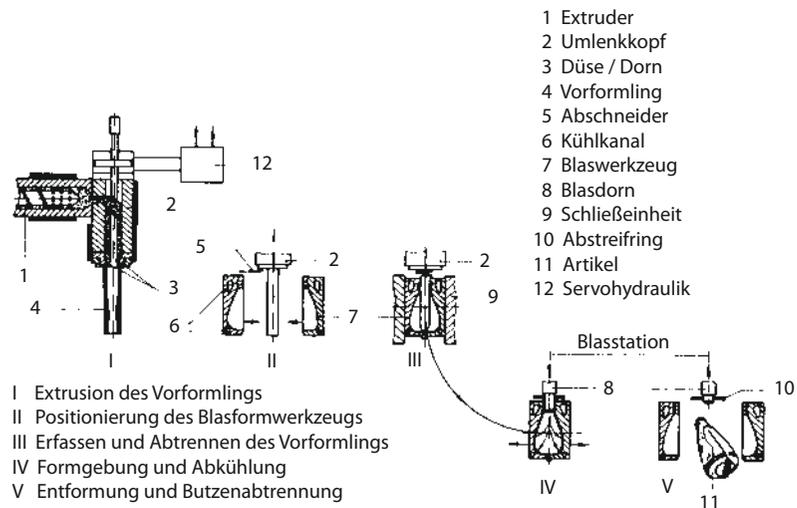


Bild 6.21 Verfahrensablauf beim Extrusionsblasformen

6.2.1.2 Die Maschine

Eine Extrusionsblasformmaschine setzt sich im Wesentlichen aus fünf Hauptbaugruppen zusammen (Bild 6.22):

- Maschinengestell mit Schließeinheit und Blasstation,
- Werkzeug,
- Extruder,
- Umlenkopf und
- Steuerschrank.

6.3.1 Maschine und Verfahrensablauf

Die Aufgabenstellung einer Spritzgießmaschine nach DIN 24 450 umfasst die diskontinuierliche Herstellung von Formteilen aus vorzugsweise makromolekularen Formmassen, wobei das Urformen unter Druck geschieht.

Verfahrensablauf

Hierzu ist es notwendig, das vom Rohstoffhersteller meist in Granulat- oder Pulverform (Elastomere üblicherweise in Form von Streifen) angelieferte Material so umzuwandeln, dass es in einen fließfähigen Zustand überführt wird. Dafür wird zunächst das Material durch Rotation der Schnecke plastifiziert (Bild 6.28). Nach Schließen des Werkzeuges (Schritt 1), welches einen Hohlraum entsprechend dem Formteil aufweist, wird das plastifizierte Material durch axialen Vorschub der Schnecke in das Werkzeug eingespritzt (Schritt 2).

Spritzgießzyklus

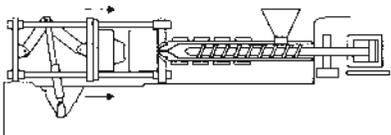
Bei thermoplastischen Materialien wird die Schmelze anschließend im Werkzeug gekühlt (Schritt 3). Im Falle vernetzender Materialien (Duroplaste, Elastomere) wird das Werkzeug beheizt und somit der Vernetzungsvorgang initiiert. Der letzte Verfahrensschritt umfasst das Öffnen des Werkzeuges und Auswerfen des Formteils (Schritt 5).

Die skizzierten Verfahrensschritte, die sich zeitlich teilweise auch überdecken, sind Bestandteil jedes Spritzgießzyklus. Bei der Produktion eines Spritzgussteils laufen die einzelnen Produktionsschritte, die in Bild 6.29 nochmals genauer unterteilt dargestellt sind, durch die Steuereinrichtung der Maschine koordiniert ab.

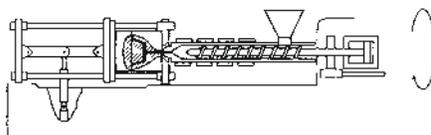
Ziel bei der wirtschaftlichen Produktion eines Formteils ist es, die für diesen Ablauf benötigte *Zykluszeit* zu reduzieren, um eine hohe Ausstoßleistung zu erreichen.

Zusätzlich zu den oben genannten Verfahrensschritten können weitere Funktionen ablaufen, wie die Bewegung des Aggregates, Betätigung von Kernzügen u. a. m., jedoch ändern diese nichts am grundsätzlichen Verfahrensablauf.

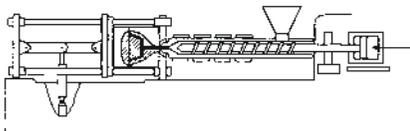
1. Werkzeug schließen



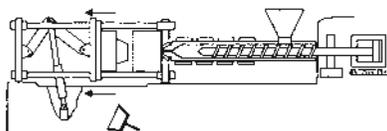
4. Dosieren



2. Einspritzen



5. Werkzeug öffnen und Formteil auswerfen



3. Nachdruck- und Kühlphase

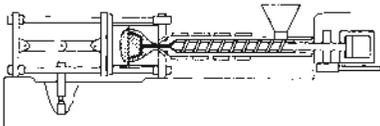


Bild 6.28 Verfahrensablauf beim Spritzgießen

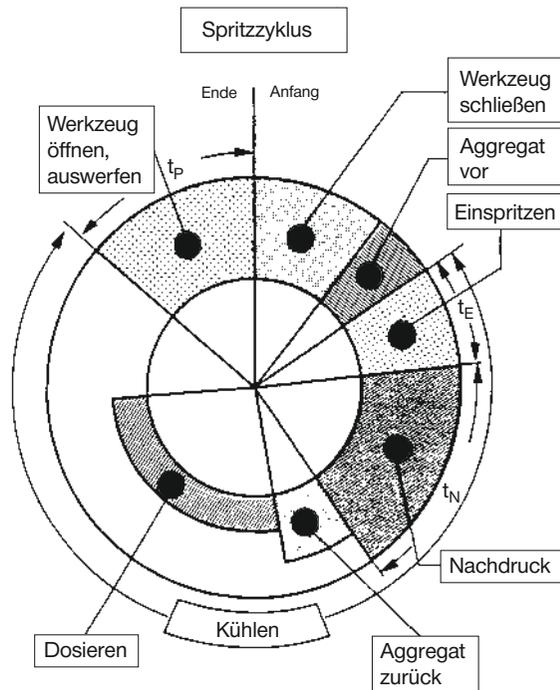


Bild 6.29 Spritzgießzyklus

Maschinenaufbau

Baugruppen Unabhängig vom zu verarbeitenden Material ist eine Spritzgießmaschine aus den folgenden Baugruppen aufgebaut (Bild 6.30): Das *Maschinenbett* dient zur Aufnahme von *Plastifizieraggregat* und *Schließeinheit*. Letztere dient dazu, die Öffnungs- und Schließbewegung des *Werkzeugs* während des Produktionszyklus zu realisieren. Der Ablauf des Spritzgießzyklus wird über eine *Regel- oder Steuereinheit*, welche meist in einem von der Maschine getrennten Schaltschrank untergebracht ist, koordiniert.

Antrieb Der Antrieb der im Plastifizieraggregat befindlichen Schnecke sowie der Schließeinheit erfolgt hydraulisch oder auch über elektrische Direktantriebe. Die zur Bereitstellung des erforderlichen Hydraulikölvolumenstroms benötigten Pumpen sind im Maschinenbett untergebracht und werden elektrisch angetrieben. Die für die Steuerung der einzelnen Bewegungsabläufe benötigten Hydraulikventile befinden sich soweit möglich in unmittelbarer Nähe der Verbraucher, denen sie zugeordnet sind. Zur Betätigung zusätzlicher Funktionen wie z. B. Auswerfer, Verschlussdüse oder zum Verfahren von Kernzügen, kommen zusätzliche rein elektromechanische oder pneumatische Antriebe zur Anwendung.

Bei den nachfolgenden Ausführungen sollen nur Maschinen betrachtet werden, deren Hauptbewegungsmechanismen (Plastifizieren, Einspritzen, Werkzeug öffnen/schließen) hydraulisch realisiert werden, da dieser Maschinentyp überwiegend im praktischen Einsatz zu finden ist, wobei jedoch vollelektrische Maschinen zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Werkzeugtemperierung Zur Kühlung des eingespritzten, schmelzflüssigen Kunststoffes muss bei Thermoplasten die Formmasse unter Erstarrungstemperatur gekühlt werden, ehe das Formteil entformt werden kann. (Bei vernetzenden Formmassen wird das Werkzeug beheizt, um den Vernetzungsvorgang auszulösen). Hierzu sind *Werkzeugtemperiervorrichtungen* (auch als *Temperieraggregat* bezeichnet) notwendig.

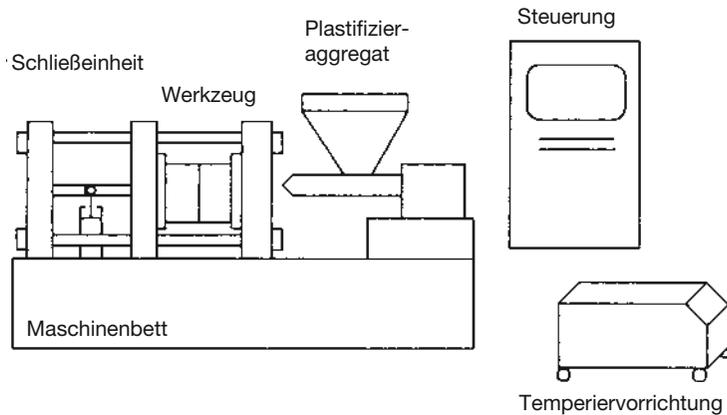


Bild 6.30 Aufbau einer Spritzgießmaschine

Diese können fester Bestandteil der Maschine sein oder als externe Einheit zur Maschine gestellt werden.

Kenndaten der Maschine

Zur Klassifizierung der Maschinengröße und -leistung kann eine Vielzahl von Daten angegeben werden. Zur ersten groben Charakterisierung wird jedoch meist die maximale *Schließkraft* F_S angegeben. Dies ist die maximale Kraft, mit der die beiden Werkzeughälften gegeneinander gepresst werden können, um ein Öffnen des Werkzeugs, verursacht durch den Werkzeuginnendruck in Füll- und Nachdruckphase, zu verhindern. Oftmals dient auch der Durchmesser der Plastifizierschnecke d_s als charakteristisches Merkmal.

Kenngrößen zur Klassifizierung

Außerdem ist der maximal mögliche *Einspritzdruck* $p_{E_{\max}}$ von Interesse. Da der Durchmesser der Schnecke bei gegebener Maschine direkt von Einfluss auf den maximal erreichbaren Einspritzdruck sowie auf das Dosiervolumen ist, gibt man oft das Produkt aus maximalem Dosiervolumen $V_{D_{\max}}$ und maximalem Einspritzdruck $p_{E_{\max}}$ als Kennzahl an.

Spritzdruck, Schließkraft und Schneckendurchmesser handelsüblicher Maschinen liegen im Bereich

p_{\max}	1500 bis 2500 bar
F_S	10^2 bis 10^5 kN
d_s	20 bis 200 mm

In der Typenbezeichnung einer Maschine tauchen meist die Angaben über die Schließkraft F_S und das Produkt P

$$P = \frac{V_{D_{\max}} [\text{cm}^3] \cdot p_{E_{\max}} [\text{bar}]}{1000}$$

auf. So bezeichnet man z. B. eine Maschine mit der Kennung

Kennung

„Firma XY 150/500“

einen Typ der Firma XY mit einer maximalen Schließkraft von 150 t (1500 kN) und einem Wert von $P = 500 \text{ cm}^3 \text{ bar}$.

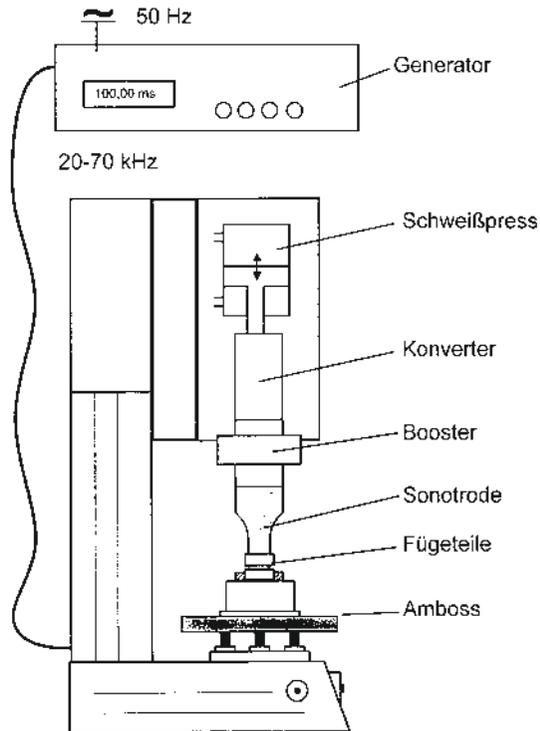


Bild 7.14 Ultraschallschweißen

Das Hochfrequenzschweißen (HF-Schweißen)

polare Kunststoffe

Einige Kunststoffe weisen *polare Gruppen* auf, die sich nach einem äußeren elektrischen Feld ausrichten können. Aufgrund dieser Tatsache können diese polaren Kunststoffe (wie z. B. PVC, ABS, PA) in einem elektrischen Wechselfeld im molekularen Bereich zum Schwingen gebracht werden. Durch die auftretende intermolekulare Reibung wird das Material erwärmt. Die Erwärmung kann so weit getrieben werden, dass der Kunststoff in den Schmelzustand überführt wird. Die elektrische Polarität eines Werkstoffs wird angegeben durch seinen *dielektrischen Verlustfaktor* $\tan \delta$. Je größer δ ist, desto größer ist die Polarität und desto besser lässt sich der Kunststoff im HF-Feld erwärmen. Tabelle 7.2 enthält die $\tan \delta$ -Werte einiger Kunststoffe:

Tabelle 7.2 Elektrische Solarität einiger Kunststoffe

Werkstoffe	$\tan \delta$
PVC-U	0,03 – 0,02
PVC-C	0,1 – 0,05
ABS	0,03 – 0,05
PA	0,04 – 0,02
PS	0,0008 – 0,0003
PE	0,0003 – 0,0005

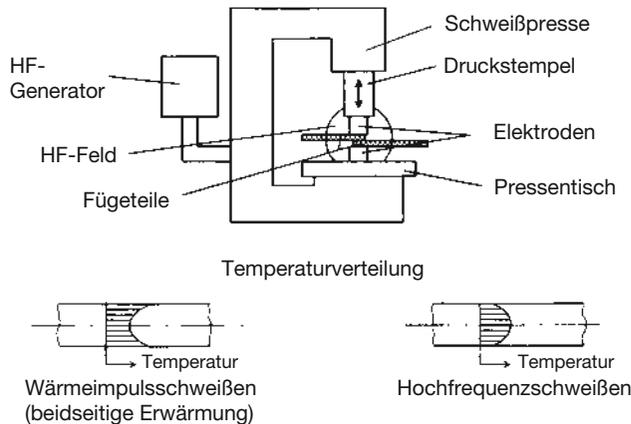


Bild 7.15 Hochfrequenzschweißen

7.2.4 Strahlungsschweißverfahren

Die Schweißverfahren, bei denen die Energieeinbringung auf Strahlung basiert, lassen sich generell in zwei Gruppen einteilen und zwar in Verfahren, die die *Wärmestrahlung* eines Heizelements ausnutzen und in andere, die mit Hilfe von *Lichtstrahlen oder Laserstrahlen* arbeiten.

Strahlung

Heizelementstrahlungsschweißen

Bei Heizelementschweißen kann es trotz antiadhäsiver Beschichtung bei einigen Materialien in der Umstellphase zum Fädenziehen kommen. Abhilfe schafft eine Prozessführung, bei der die Fügeteile nicht mehr in direktem Kontakt, sondern in einer geringen Entfernung (0,5–1 mm) zum Heizelement stehen. Die Erwärmung erfolgt hier überwiegend durch Wärmestrahlung, allerdings auch mit einem Anteil Konvektion. Da sich die Fügeteile bei der Erwärmung ausdehnen, muss der Abstand zum Heizelement stets korrigiert werden, um eine Berührung zu unterbinden.

berührungsloses
Heizelement-
schweißen

Lichtstrahlschweißen

Durch gebündelte Lichtstrahlen lassen sich Kunststoffe berührungslos aufschmelzen und verschweißen. Dieses Verfahren ist nur für *nicht transparente Materialien* vorteilhaft, da bei transparenten die Lichtabsorption in der Regel zu gering ist. Man unterscheidet das *direkte* und das *indirekte Lichtstrahlschweißen*.

nichttransparente
Materialien

Beim direkten Verfahren wird die Strahlungsenergie direkt auf die Fügefläche aufgebracht, während beim indirekten die Energie durch die Fügeteile zur Fügefläche transportiert werden muss. Das Lichtstrahlschweißen wird bisher nur in Sonderfällen für Folien eingesetzt.

Sonderverfahren

Eine weitere Ausführungsart ist das *Lichtstrahlextrusionsschweißen*. Hier wird das Zusatzmaterial wie beim konventionellen Extrusionsschweißen vom Extruder geliefert, die Vorwärmung der Fügeteile erfolgt nicht mehr durch Warmgas, sondern durch gebündelte Lichtstrahlen. Das Verteilen und Zusammendrücken der Masse wird wiederum mit Gleitschuhen vorgenommen.

Laserdurchstrahlschweißen

Das Laserdurchstrahlschweißen zählt unter den Kunststoffschweißverfahren mittlerweile zu den etablierten, in der Serienfertigung eingesetzten Fügeverfahren.

Prinzip Beim Laserdurchstrahlschweißen handelt es sich um einen einstufigen Prozess, bei dem die Erwärmung des Kunststoffs und der Fügevorgang nahezu gleichzeitig ablaufen. Dabei muss ein Fügepartner im Bereich der Laserwellenlänge einen hohen Transmissionsgrad und der andere einen hohen Absorptionsgrad aufweisen.

Der transparente Fügepartner wird vom Laserstrahl ohne nennenswerte Erwärmung durchstrahlt (Bild 7.16). Erst im zweiten Fügepartner wird der Laserstrahl in einer oberflächennahen Schicht vollständig absorbiert, wobei die Laserenergie in Wärmeenergie umgewandelt und der Kunststoff aufgeschmolzen wird. Durch Wärmeleitung wird auch das transparente Bauteil im Bereich der Fügezone plastifiziert.

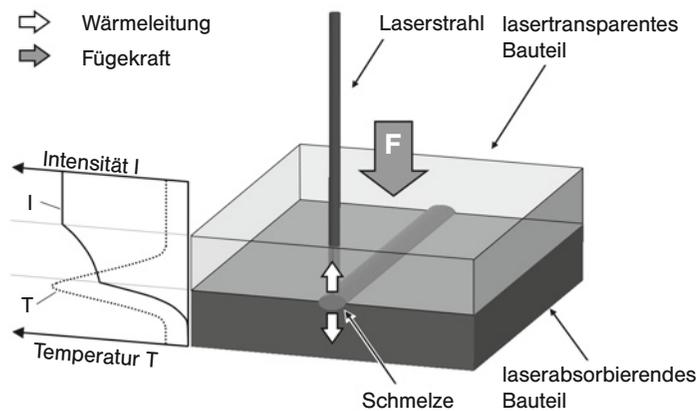


Bild 7.16 Prinzip des Laserdurchstrahlschweißens

Vor- und Nachteile Die Vorteile dieses Verfahrens sind unter anderem

- die berührungslose Energieeinbringung,
- die sehr kleinen Wärmeeinflusszonen,
- die Realisierung fast beliebiger Nahtgeometrien,
- die Vermeidung einer mechanischen Belastung der Fügepartner,
- der geringe Schmelzeustrieb,
- das optisch gute Erscheinungsbild der Schweißnaht.

Demgegenüber stehen jedoch auch einige Limitationen:

- Fügepartner müssen unterschiedliche optische Eigenschaften besitzen,
- Laser absorbierende Pigmentierung muss verwendet werden,
- möglichst spaltfreies Berühren der Fügepartner ist notwendig,
- Schweißnaht muss vom Laserstrahl erreichbar sein.

optische
Eigenschaften

Da nahezu alle Kunststoffe im nahen Infrarotbereich (Wellenlänge ca. 800 bis 1100 nm) einen hohen Transmissionsgrad besitzen, werden für das Laserdurchstrahlschweißen üblicherweise Festkörper- und Hochleistungsdiodenlaser eingesetzt. Dem absorbierenden Fügepartner werden absorbierende

Pigmente zugesetzt, bei denen es sich meist um Ruß handelt, woraus die für das menschliche Auge schwarze Farbe dieser Bauteile resultiert. Es existieren jedoch auch sogenannte Nah-Infrarot-Absorber, die im sichtbaren Wellenlängenbereich eine nicht-schwarze Farbe aufweisen können.

Grundsätzlich lassen sich die vier verschiedenen Verfahrensvarianten Kontur-, Simultan-, Quasi-Simultan- und Maskenschweißen unterscheiden. Die wichtigsten Unterscheidungsmerkmale liegen in der Art der Energieeinbringung sowie der Strahlformung (Bild 7.17).

Verfahrensvarianten

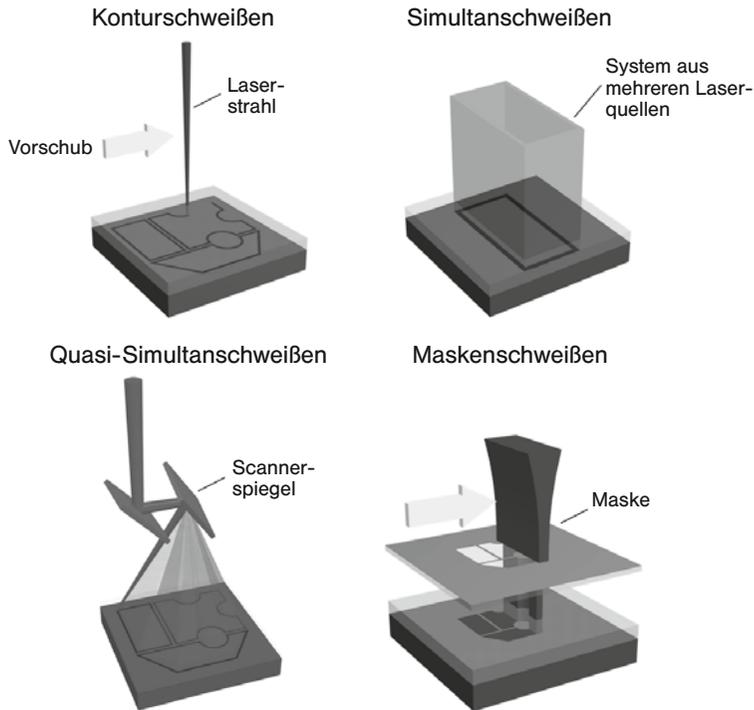


Bild 7.17 Verfahrensvarianten beim Laserdurchstrahlschweißen

Das Konturschweißen ist die am weitesten verbreitete Variante. Dabei wird die Schweißnaht mit einem fokussierten Laserstrahl sequenziell abgefahren und lokal aufgeschmolzen. Beim Simultanschweißen erfolgt das Aufschmelzen der gesamten Nahtkontur gleichzeitig. Normalerweise wird ein System aus mehreren Hochleistungsdiodenlasern so angeordnet, dass die komplette Nahtkontur simultan bestrahlt wird. Beim Quasi-Simultanschweißen wird der Laserstrahl mit Hilfe von Scannerspiegeln mit einer hohen Geschwindigkeit entlang der Schweißnaht geführt und die Kontur mehrmals pro Sekunde abgefahren. Die gesamte Fügefläche wird fast zeitgleich (quasi simultan) erwärmt. Bei der Maskentechnik wird zwischen dem Fügepart und der Laserquelle eine Maske positioniert. Der Laser wird über die Maske verfahren und trifft nur dort auf die Fügefläche, wo sich eine Aussparung in der Maske befindet. Kleinste Nähte von etwa 100 µm Breite lassen sich hiermit erzeugen.