

Blasformen

Michael Thielen, Klaus Hartwig, Peter Gust
von Kunststoffhohlkörpern

ISBN 3-446-22671-0

Leseprobe

Weitere Informationen oder Bestellungen unter
<http://www.hanser.de/3-446-22671-0> sowie im Buchhandel

2 Extrusionsblasformen

Blasformen ist eine ganze Familie von Kunststoffverarbeitungsverfahren, denen eines gemeinsam ist: Die eigentliche Formgebung findet durch Aufblasen eines plastisch deformierbaren Vorformlings gegen eine gekühlte Formwandung statt. Dabei erstarrt der thermoplastische Kunststoff, und ein Hohlkörper kann der Form entnommen werden. Eines der Blasformverfahren mit der größten wirtschaftlichen Bedeutung ist das *Extrusionsblasformen*. Ein weiteres wichtiges Blasformverfahren, das gerade in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen hat, ist das Streckblasformen, das in Kapitel 3 beschrieben wird.

2.1 Prozessablauf beim Extrusionsblasformen

Die grundsätzlichen Verfahrensschritte des Extrusionsblasformens sind (Bild 2.1):

- Plastifizieren und Bereitstellen der thermoplastischen Schmelze in einem Extruder.
- Umlenken der Schmelze in eine senkrechte Fließbewegung nach unten und das Ausformen eines schlauchförmigen Schmelze-„Vorformlings“. Die Erzeugung dieses Vorformlings geschieht im so genannten Schlauchkopf (auch Blaskopf oder nur kurz Kopf genannt).
- Eine in der Regel aus zwei Halbschalen bestehende Form (Blasformwerkzeug) wird um den frei unter dem Kopf hängenden Vorformling herum geschlossen und quetscht diesen an beiden Enden (oben und unten) ab.
- Einschießen eines Blasdorns oder einer (ggf. mehrerer) Blasnadel(n).
- Aufblasen des plastischen Vorformlings gegen die gekühlten Wände des Blasformwerkzeugs, wo der Kunststoff abkühlt, erhärtet und die endgültige Form des Formteils annimmt.
- Öffnen der Form und Entformen des blasgeformten Teils.
- Entfernen der abgequetschten „Butzen“-Abfälle“ an beiden Enden des Blasformteils (Entbutzen).

Nun können („in-line“ oder „off-line“) weitere Nachbearbeitungsschritte folgen. Solche Verfahrensschritte können beispielsweise eine Dichtigkeitsprüfung oder ein Etikettiervorgang sein. Bei Verpackungsartikeln gehören das Abfüllen und Verschließen ebenso

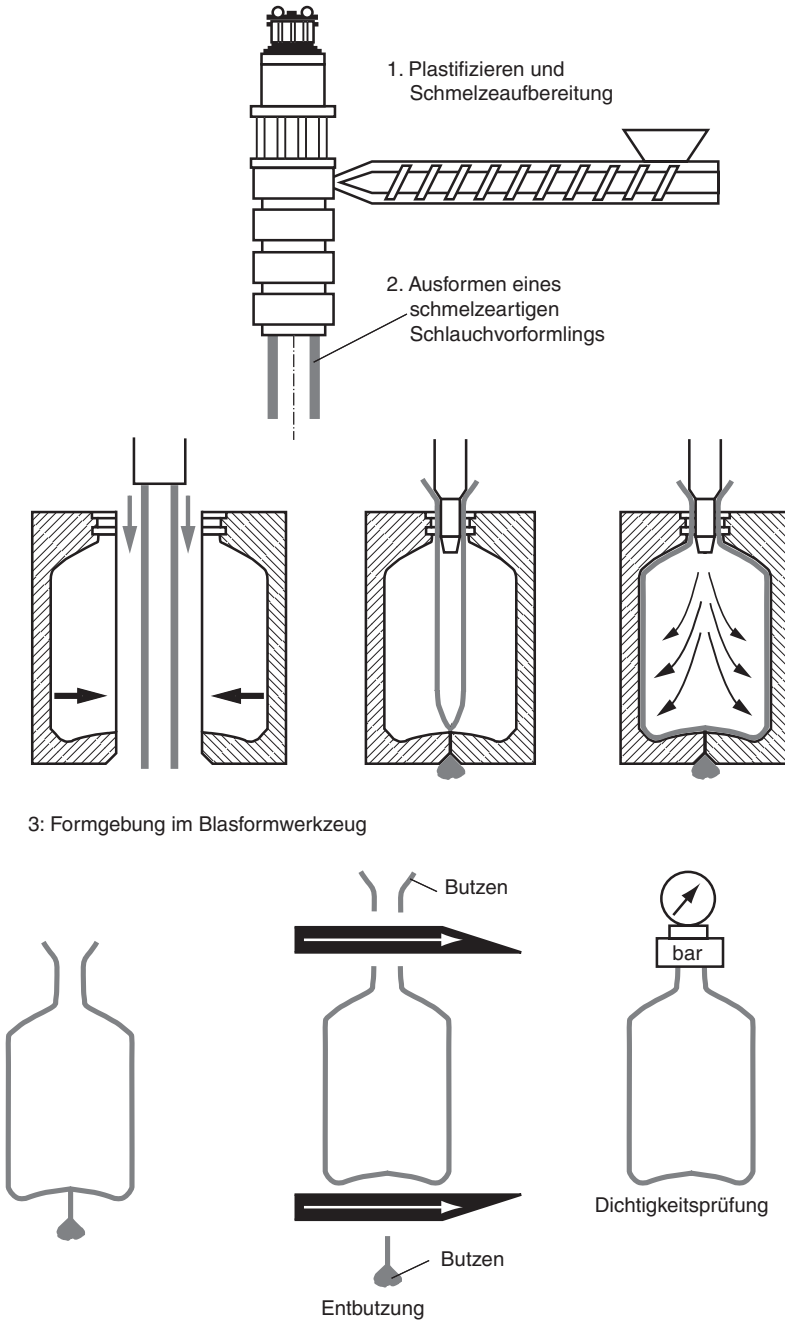


Bild 2.1: Grundsätzliche Verfahrensschritte beim Extrusionsblasformen

dazu wie weitere Verpackungsprozesse, z.B. das Einwickeln in Schrumpffolie oder die Palettierung. Technische Teile, wie beispielsweise Kunststoffkraftstofftanks, Kraftstoff-einfüllrohre, Luftführungskanäle o.ä., können z.B. durch Anschweißen weiterer Komponenten wie Nippel oder Befestigungsglaschen komplettiert werden.

2.2 Rohstoffe

2.2.1 Kunststoffe

Kunststoffe sind hochmolekulare organische Verbindungen, die entweder durch Abwandeln hochmolekularer Naturstoffe oder durch die chemische Aneinanderlagerung niedermolekularer Grundbausteine, sog. Monomere, durch verschiedenartige chemische Reaktionen entstehen [1]. Daher werden die Kunststoffe in abgewandelte Naturstoffe und synthetische Kunststoffe eingeteilt. Die synthetischen Kunststoffe werden zusätzlich nach ihrem Herstellungsprozess in Polymerisate, Polykondensate und Polyaddukte eingeteilt. Diese Zuordnungen sagen wenig über die praktische Verwendung bzw. die Eigenschaften der Kunststoffe aus [1]. Daher werden Kunststoffe auch nach ihrem molekularen Ordnungszustand gegliedert. Es werden Thermoplaste, Elastomere und Duroplaste unterschieden.

Grundbausteine der Kunststoffe sind lange Kettenmoleküle. *Thermoplaste* bestehen aus linearen oder verzweigten, nicht vernetzten Molekülketten. Sie verbinden sich lediglich durch Verschlaufungen und Verhakungen. Solche Haftstellen können sich im Gegensatz zu festen Vernetzungen lösen und andernorts neu bilden [2]. Diese losen Bindungen erklären das für Thermoplaste typische Verhalten, in der Wärme gummi-elastisch-weich und bei höheren Temperaturen plastisch-teigig bis flüssig zu werden. Wird ein Thermoplast bei hohen Temperaturen belastet, verformt er sich. Wird die Temperatur bei bestehender Last reduziert, friert der Verformungszustand ein. Wird der Kunststoff ohne Belastung erneut erwärmt, nimmt er wieder weitgehend seine alte, unverformte Gestalt ein. Diese Reaktion kann als „Gedächtnis“, „Erinnerungsvermögen“ oder als „Memory-Effekt“ bezeichnet werden. Bei rein plastischer Verformung bei hohen Temperaturen nimmt dieser Effekt ab. Auch zeigen hochpolymere Kunststoffe bei mechanischen Beanspruchungen im Vergleich zu den meisten anderen Werkstoffen ein besonders stark ausgeprägtes visko-elastisches Verhalten [3].

Es wird zwischen idealer Elastizität nach Hooke

$$\sigma = E\varepsilon$$

mit σ Spannung und E Elastizitätsmodul

und idealer Viskosität nach Newton

$$\tau = \eta \dot{\gamma}$$

mit τ Schubspannung, η Viskosität und $\dot{\gamma}$ Schergeschwindigkeit

unterschieden. Polymerschmelzen sowie Kautschuke verhalten sich weder ideal elastisch noch ideal viskos. Für das mechanische Verhalten dieser hochviskosen Werkstoffe ist der allgemeine Begriff Viskoelastizität gebräuchlich. Nach Oswald-de-Waele wird dafür die Formulierung

$$\tau = k \dot{\gamma}^n$$

mit den Konstanten k und n ; n = Fließindex eingeführt (Bild 2.2).

Ein Vorteil der Thermoplaste ist, dass das Material durch die Erwärmung und Verformung kaum geschädigt wird. Der Vorgang ist nahezu beliebig oft wiederholbar, vorausgesetzt, die Molekülketten werden nicht geteilt. Beim Blasformen besteht so die Möglichkeit, gemahlene Butzenmaterial dem Prozess erneut zuzuführen. Da es beim Zermahlen des Butzenmaterials und beim Fördern im Extruder immer zur Zerstörung eines Teils der Molekülketten kommt, z. B. durch Scherung, ist die Zuführung von Butzenmaterial begrenzt.

Thermoplaste haben die Eigenschaft, sich bei regelmäßigem Kettenaufbau in dichtester Packung aneinander zu legen. Dieser regelmäßige Aufbau wird als Kristallisation bezeichnet. Aufgrund der sich stets einstellenden Molekülverschlaufungen kommt es jedoch

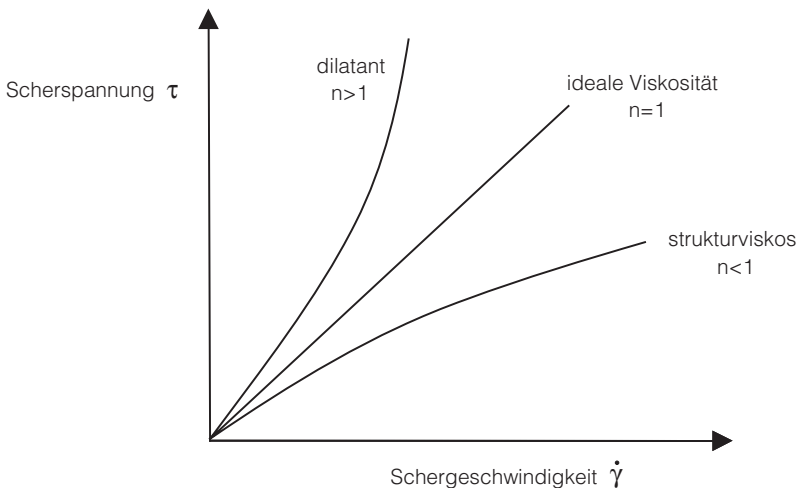
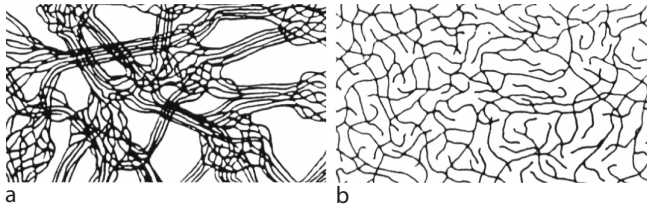


Bild 2.2: Unterscheidung zwischen dilatantem, ideal viskosem und strukturviskosem Material [4]



a: teilkristallin und b: amorph

Bild 2.3: Ordnungszustand der Makromoleküle in Thermoplasten [1]

nicht zu einer vollständigen Kristallisation, daher wird von teilkristallinen Thermoplasten (wie z. B. PE, PP und PA) gesprochen, Bild 2.3a. Ist der Aufbau der Makromoleküle ungleichmäßig, können die Moleküle diese dichteste Packung nicht einnehmen. Ihr Aufbau wird dann als amorph (gestaltlos) bezeichnet, Bild 2.3b. Diese Kunststoffe (wie z. B. PVC, PS, PMMA, PC) sind transparent. Besonders die technischen Thermoplaste, z. B. PA oder PC, neigen zur Feuchtigkeitsaufnahme. Daher müssen die Materialien entsprechend den Angaben des Materialherstellers für die Verarbeitung im Vakuum- oder Trockenlufttrockner vorkonditioniert werden.

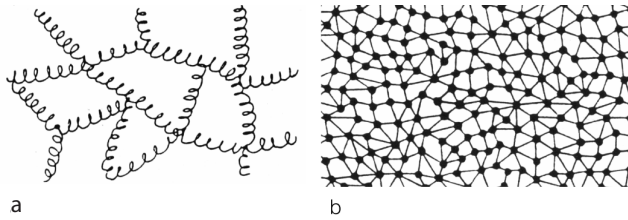
Bei den *Elastomeren* sind im Gegensatz zu den Thermoplasten die Molekülketten lose und weitmaschig vernetzt, Bild 2.4 a. Aufgrund dieser geringen Vernetzung und den zwischenmolekularen „Rückstellkräften“ verhält sich diese Kunststoffgruppe bei Raumtemperatur Gummi-elastisch. Sie ist nicht schmelzbar, unlöslich, nicht quellbar, und bei zu starker Erhitzung werden sie zerstört.

Stark vernetzte Kunststoffe werden als *Duroplaste* oder auch *Duromere* bezeichnet, Bild 2.4b. Mit zunehmender Vernetzung werden Duroplaste härter und spröder. Sie sind nicht schmelzbar, unlöslich und nicht quellbar.

Das Verhalten der Polymere wird stark von der Temperatur beeinflusst. Die wichtigsten Kenngrößen sind nach [5]:

Glaszustand: Als Glaszustand wird der Temperaturbereich bezeichnet, der unterhalb der Glasübergangstemperatur liegt. Die Brownsche Molekülbewegung kommt zum Stillstand, das Material friert ein.

Glasübergangstemperatur T_g -bereich: Bei Thermoplasten und Elastomeren kennzeichnet die Glasübergangstemperatur T_g bzw. der Glasübergangstemperaturbereich den Übergang vom weichen bzw. zäh- oder Gummi-elastischen Verhalten zum harten bzw. glasartigen Zustand bei Abkühlung.



a: weitmaschig vernetzt (Elastomer) und b: engmaschig vernetzt (Duroplast)

Bild 2.4: Ordnungszustand der Makromoleküle in räumlich vernetzten Polymeren [1]

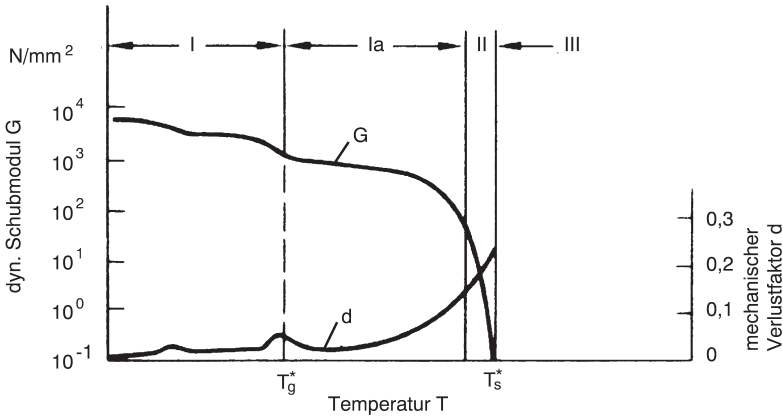
Fließtemperatur T_F , -bereich: Die Fließtemperatur bzw. der Fließtemperaturbereich gibt eine untere Grenztemperatur an, bis zu der noch ein Urformen durch Spritzgießen oder Extrudieren möglich ist. Bei Temperaturen unterhalb der Fließtemperatur ist nur noch eine thermoplastische Verarbeitung (Umformen) durchführbar.

Kristallitschmelztemperatur T_s , -bereich: Die Kristallitschmelztemperatur bzw. der Kristallitschmelzpunktbereich stellt die obere Grenztemperatur des Anwendungsbereichs verstärkter, teilkristalliner Thermoplaste dar. Sie wird oftmals nur als Schmelztemperatur bezeichnet und kennzeichnet somit auch den Übergang von fest zu flüssig.

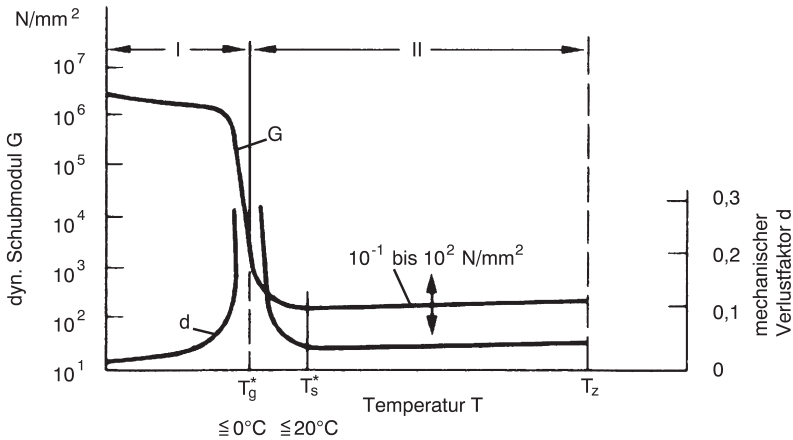
Zersetzungstemperatur T_z : Die Zersetzungstemperatur gibt eine obere Grenze an, bis zu der kein bzw. ein nur unwesentlicher, durch chemische Reaktionen verursachter, molekularer Abbau eintritt. Oberhalb der Zersetzungstemperatur erfährt das Material eine irreversible Schädigung.

Die Verarbeitung im Extrusionsblasformen liegt während der Aufbereitung der Schmelze im Extruder zwischen der Zersetzung- und der Kristallitschmelztemperatur. Das Material kühlt bei Austritt aus dem Düsenkopf bis in den Bereich der Fließtemperatur ab, und bei Kontakt mit der gekühlten Werkzeugwand geht die Schmelze in den Glasübergangstemperaturbereich über und erstarrt.

Für Kunststoffe muss zur Angabe von Zug- und Schubmodul immer eine Zeit- und Temperaturabhängigkeit berücksichtigt werden. In Bild 2.5 ist die Temperaturabhängigkeit von Kunststoffen dargestellt. Im Vergleich von Thermoplast zu Elastomer ist der große thermo-elastische Bereich (Ia) als Anwendungsbereich für Thermoplaste zu erkennen. Dieser Bereich ist bei den Elastomeren kaum vorhanden ($T_g \approx T_s$). Eine Möglichkeit zur Charakterisierung des Verformungsverhaltens von Kunststoffen für den Extrudier- und Aufblasprozess ist die Angabe des Schmelzindex (englisch MFI = Melt Flow Index) und der Molekulargewichtsverteilung.



- Bereich I: Glaszustand, amorphe Bereiche eingefroren, Kunststoff spröde,
 T_g^* : Glasübergangstemperatur für die amorphen Anteile
- Bereich Ia: Amorphe Anteile thermoelastisch, kristalline Anteile starr. Üblicher Anwendungsbereich,
 T_s^* : Kristallitschmelztemperatur
- Bereich II: Bereich der aufschmelzenden Kristallite, Kunststoff wird warmumformbar
 (enger Temperaturbereich)
- Bereich III: Viskoses Fließverhalten, Bereich der Thermoelastizität, Urformen und Schweißen



- Bereich I : Eingefrorener Zustand, Werkstoff ist spröde, Temperatur < 20°C,
 T_g^*, T_s^* : Glasübergangstemperatur bzw. Schmelztemperatur der Kristallite
- Bereich II : Gummielastisches Verhalten (Entropieelastizität),
 Anwendungsbereich der (lose) vernetzten Werkstoffe,
 T_z : Zersetzungstemperatur (angedeutet)

a: teilkristalline Thermoplasten wie z. B. PE, PP, PA, PET und b: Elastomeren wie z. B. Weichgummi und Weich-PUR

Bild 2.5: Temperaturabhängigkeit des dynamischen Schubmoduls G und des mechanischen Verlustfaktors d [1]

Der MFI-Wert nach DIN 53737 oder ASTM 1268-62T ist die internationale Bezeichnung für den Schmelzindex. Er gibt Aufschluss über die Viskosität, die Ausziehfähigkeit und die mechanischen Eigenschaften des Polymers. Für PE z. B. liegt der Schmelzindex zwischen 0,2 g/10 min und 4 g/10 min. Der Schmelzindex kann sich während der Verarbeitung z. B. durch Verschlaufen der Molekülketten ändern, daher wird er auch zur Bewertung von Verarbeitungsverfahren genutzt.

2.2.2 Kunststoffe für das Extrusionsblasformen

Grundsätzlich können laut [6] alle thermoplastischen Kunststoffe blasgeformt werden. Tatsächlich werden aber *nicht alle* Thermoplaste durch Extrusionsblasformen verarbeitet. Die am häufigsten verwendeten Materialien sind laut [5]:

- High Density Polyethylen (PE-HD) mit einem Anteil von 80 %,
- Polypropylen (PP) mit einem Anteil von 7 %,
- Low Density Polyethylen (PE-LD) mit einem Anteil von 5 %,
- Polyvinylchlorid (PVC) mit einem Anteil von 5 %

sowie PC, ABS + PC-Blends und PA.

Die Eigenschaften und Anwendungsbereiche von Kunststoffen für das Extrusionsblasformen werden in [7] beschrieben.

Um für den Blasformprozess geeignet zu sein, müssen die Rohstoffe einige Voraussetzungen erfüllen, die im Folgenden kurz erläutert werden.

Die erste Voraussetzung ist die *Dehnviskosität*. Wenn die Dehnviskosität zu gering ist, wird der schlauchförmige Vorformling nicht lange genug frei unter der Düse des Schlauchkopfes hängen können. Er wird unkontrolliert durchhängen (engl. „sagging“), und es ist nicht möglich, gute Teile mit einer definierten Wanddickenverteilung herzustellen. Ist die Dehnviskosität auf der anderen Seite zu hoch, so ist der Vorformling nicht aufblasbar. Er wird an der dünnsten Stelle aufreißen oder platzen, bevor er sich an die gekühlten Formwände anlegen kann.

Für spezielle technische Anwendungen werden Füll- und/oder Verstärkungsstoffe, wie beispielweise Glasfasern, Mica oder Talkum, eingesetzt, um die Eigenschaften der Materialien entsprechend zu modifizieren (siehe Abschnitt 2.6.9). Auf der einen Seite können

diese Füllstoffe die Eigenschaften des Vorformlings zugunsten des Durchhängeverhaltens positiv beeinflussen. Auf der anderen Seite kann der Gehalt dieser Füllstoffe jedoch auch die Aufblasbarkeit des Kunststoffs verringern, so dass nur ein bestimmter maximaler Anteil an Füllstoffen eingesetzt werden kann. Die Viskosität des Polymers muss entsprechend den Füllstoffen sorgfältig ausgewählt werden [2].

Ein weiterer wichtiger Faktor ist das *Verarbeitungstemperaturfenster* der Rohstoffe. Polyolefine, wie Polyethylen und Polypropylen, haben ein vergleichsweise breites Verarbeitungstemperaturfenster (ca. 30 K¹), wogegen beispielsweise Polyamide oder Polycarbonate ein recht enges Verarbeitungsfenster haben (ca. 10, maximal 15 K). Je breiter dieses Temperaturfenster ist, umso mehr Zeit steht zur Verfügung, den Vorformling zu extrudieren und unter dem Kopf hängen zu lassen, bevor die Form geschlossen wird. Ist das Temperaturfenster zu schmal, wird der Vorformling insbesondere am unteren Ende stark abkühlen, und es wird schwierig bis unmöglich, ihn während des Aufblasvorgangs zu deformieren. Ein zu kaltes unteres Ende des Vorformlings führt außerdem zu einer schlechten Verschweißung in der Quetschnaht des Artikels.

Die am häufigsten zum Extrusionsblasformen verwendeten Thermoplaste sind die Polyolefine.

Geruchs- und geschmacksneutral sowie physiologisch unbedenklich stellt Polyethylen in Verbindung mit seinen guten Sperreigenschaften gegenüber Wasser ein ideales Material zur Herstellung von Verpackungsanwendungen wie Flaschen, Kanistern, industriellen Großverpackungen (Fässer, 1000 Liter IBC), technischen Bauteilen wie Kunststoffkraftstoffbehältern (KKB), Kraftstoffeinfüllrohren, Sitzen, Paneelen, Luftführungs Kanälen usw. dar (Bilder 1.1, 1.3 bis 1.6). Polyethylen wird in der Form von Polyethylen mit hoher Dichte (PE-HD) und Polyethylen mit niedriger Dichte (PE-LD) eingesetzt. Das wichtigste Anwendungsgebiet von PE-LD ist nach [1] mit einem Anteil von 73 % in Westeuropa die Folienherstellung. PE-HD ist aufgrund seiner erhöhten Steifigkeit und Schmelzeviskosität sowie der hohen Spannungsris- und Chemikalienbeständigkeit ein bevorzugter Werkstoff für alle Arten von Kanistern, Rohren, Tanks und Fässern. PE-HD hat einen Schmelzbereich von 180 °C bis 220 °C und PE-LD von 140 °C bis 170 °C.

Polypropylene werden zum Herstellen von Verpackungen für Lebensmittel, z. B. Flaschen für Säfte, Sirup, Soßen und für pharmazeutische und kosmetische Erzeugnisse verwendet. In besonderem Maß wird Polypropylen für technische Blasteile von Kraftfahrzeugen wie z. B. Kühlwasserbehälter und Luftführungskomponenten (Bild 1.7) eingesetzt.

1 K= Kelvin

20 Liter bzw. fünf Gallonen Wasserflaschen für Trinkwasserspender (Bild 1.2) werden im Extrusionsblasformverfahren aus Polycarbonat (PC) hergestellt. Dieses kristallklare und schlagzähe Material wird ebenfalls z. B. für Displayboxen für Süßigkeiten für den Einzelhandel eingesetzt.

Polyamide (PA 6, PA 66) finden Einsatz bei technischen Teilen, wie Ansaugleitungen im Motorraum von Turbo-geladenen Fahrzeugen. Sie weisen eine vergleichsweise hohe Wärmeformbeständigkeit auf, werden aber auch bei hohen Verarbeitungstemperaturen verarbeitet.

Weitere Thermoplaste für technische Anwendungen wie Stoßfängerträger, Spoiler usw. sind modifiziertes Polyphenylenoxid (PPO), Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymerisate (ABS) oder Blends unterschiedlicher Materialien, z. B. von Polybutylenterephthalat (PBT), ABS, PC und weiteren.

Die Bedeutung von Polyvinylchlorid (PVC) als Blasformmaterial geht sukzessive zurück. Insbesondere für Verpackungsanwendungen wird es nur noch in wenigen Ländern eingesetzt. In einigen technischen Anwendungsgebieten, beispielsweise in der Bauindustrie, hat PVC aufgrund seiner exzellenten Langzeitstabilität weiterhin einen erheblichen Stellenwert. Die Verarbeitung von PVC im Blasformverfahren ist recht komplex und erfordert spezielle Erfahrung, da bei nicht sachgerechter Verarbeitung Salzsäure freigesetzt werden kann. Eine spezielle Maschinenausrüstung im Bereich des Extruders und des Schlauchkopfes ist mit Blick auf die Korrosionsbeständigkeit daher erforderlich.

2.3 Maschinenteknik

2.3.1 Grundsätzlicher Aufbau einer Blasformmaschine

Eine Blasformmaschine kann in unterschiedliche Teilsysteme untergliedert werden (Bild 2.6):

- 1 Extruder mit Materialtrichter, Schnecke, (meist) Gleichstrom- oder Wechselstromantrieb und Heizung für das Plastifizieren und die Aufbereitung der thermoplastischen Schmelze.
- 2 Schlauchkopf zum Umlenken der Schmelze in einer vertikale Fließbewegung und Ausformen des schlauchförmigen Vorformlings.
- 3 Steuerung (Maschinensteuerung und Wanddickensteuerungssysteme)
- 4 Blasformwerkzeug

- 5 Maschinengestell mit Schließeinheit, in welche das Blasformwerkzeug montiert wird.
- 6 Versorgungseinheit mit Hydraulikaggregat, Kühlwasserversorgung für die Blasform, die Extrudereinfüllzone und das Hydraulikaggregat sowie die Versorgung mit Luft: Blasluft für Vor- und Aufblasen sowie Steuerluft für pneumatisch aktivierte Komponenten.

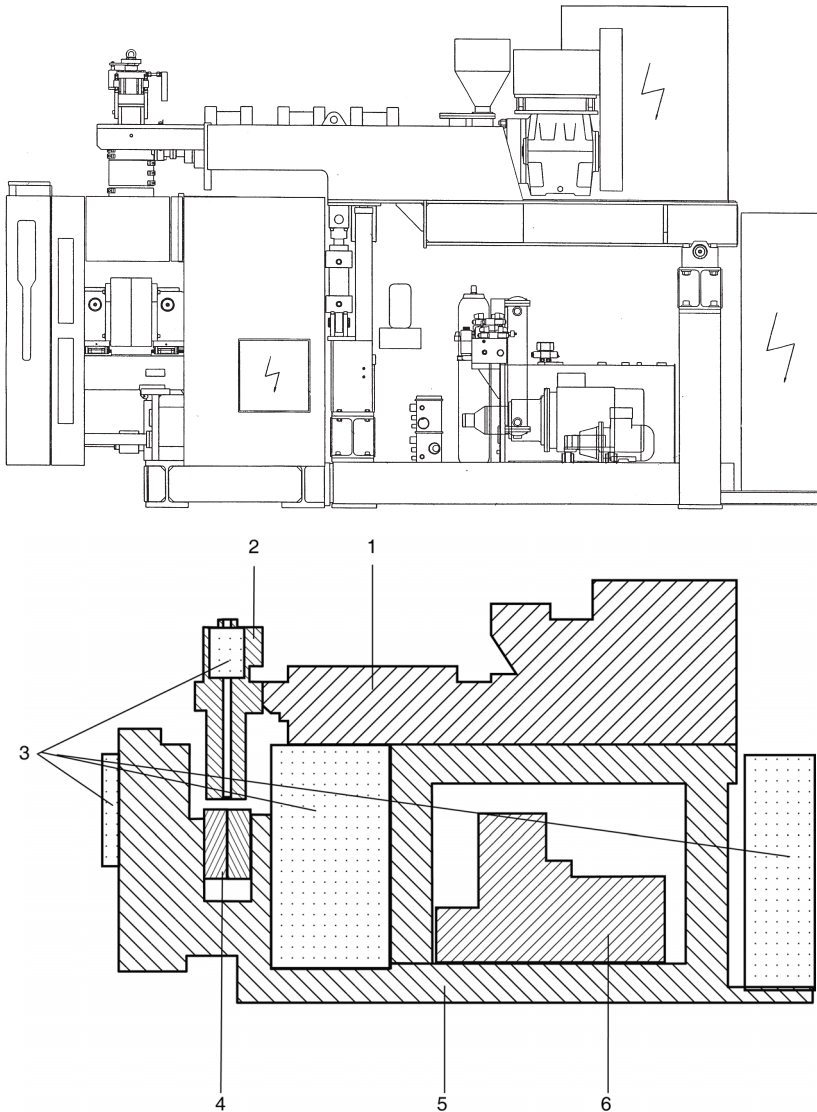


Bild 2.6: Grundsätzlicher Aufbau einer Extrusionsblasformmaschine (Bild: Kautex Maschinenbau)