

# 1

## Einführung

### ■ 1.1 Hohlkörper aus Kunststoff – wozu?

Hohlkörper aus Kunststoffen findet man heutzutage nahezu überall. Sie finden Verwendung in der Verpackung, Lagerung, beim Transport oder bei der Führung von Flüssigkeiten oder Schüttgütern. Derartige Kunststoffhohlkörper sind beispielsweise Flaschen, Kanister, Fässer, Tanks, aber auch Rohre oder Schläuche. Bei speziellen Verpackungsgegenständen für empfindliche Güter, wie beispielsweise elektronisches Equipment, bieten Kunststoffhohlkörper den Verpackungsgütern eine besondere Schutzfunktion. Auf Grund der doppelwandigen Struktur können stabile und dennoch leichte Strukturkomponenten hergestellt werden, beispielsweise Transportpaletten, Strukturteile in Fahrzeugsitzen oder die unterschiedlichsten Arten von tafel- oder plattenartigen Bauteilen. Kunststoffhohlkörper finden sich aber auch im Spiel- und Sportbereich, bei Deko-Objekten (Deko-Früchte oder Tiere) und einer Fülle weiterer Anwendungsgebiete.

### ■ 1.2 Verfahren zur Herstellung von Hohlkörpern aus Kunststoff

#### 1.2.1 Thermoplaste

Zur Herstellung von Kunststoffhohlkörpern gibt es eine ganze Reihe unterschiedlicher Verarbeitungsverfahren. Hohlkörper aus Thermoplasten können beispielsweise hergestellt werden durch:

- *Spritzgießen* von zwei Halbschalen, die dann in einem zweiten Arbeitsschritt durch Schweißen, Kleben, Clipsen, Schrauben o.ä. zu einem Hohlkörper zusammengefügt werden.
- *Schmelzkerntechnik*; dieses Verfahren verwendet einen Kern aus einer niedrig schmelzenden (beispielsweise Zinn-Wismut-)Legierung, der mit thermoplastischem Kunststoff umspritzt und anschließend bei relativ niedrigen Temperaturen durch

ein Induktionsverfahren aus dem Spritzgussteil wieder ausgeschmolzen werden kann. Auf diese Weise lassen sich anspruchsvolle Rohrleitungen mit exzellenten Innenoberflächen und komplexer Innengeometrie, hauptsächlich für die Automobilindustrie herstellen. Die Zinn-Wismut-Legierung kann nach dem Ausschmelzen erneut verwendet werden.

- *Rotationsformen*; für dickwandige Anwendungen in geringen Stückzahlen, beispielsweise große Mülltonnen, Boote (Kajaks) oder spezielle Tanks, aber auch für dekorative Objekte wie künstliche Tiere.
- *Drehen oder Fräsen aus dem Vollen*; dieses ist, zumindest theoretisch, eine Möglichkeit, Hohlkörper aus speziellen Thermoplasten herzustellen, die sich anders nicht oder nur schwierig verarbeiten lassen (zum Beispiel PTFE).
- *Extrusion*; Rohre und Schläuche, solange sie gerade sind und einen konstanten Durchmesser und konstante Wanddicke aufweisen, sind extrudierte Kunststoffhohlkörper.
- *Faserwickeln*; mit Endlos-Faser verstärkte thermoplastische Bändchenhalbzeuge können in einem speziellen Wickelverfahren zu anspruchsvollen Strukturkomponenten verarbeitet werden.
- *Twin-Sheet-Forming*; zwei spezielle Breitschlitzdüsen produzieren zwei Schmelze-„Felle“ beispielweise in unterschiedlichen Farben. Es kommen aber auch tafelförmige, wieder erwärmte Halbzeuge zum Einsatz. Durch Schließen einer zweiteiligen Form werden die beiden Tafeln (Folien, „Felle“) miteinander verschweißt und schließlich zu einem Hohlkörper aufgeblasen [1].
- *Blasformen*; Gegenstand dieses Buches, ist eine Familie von Verfahren, die es ermöglicht, eine große Bandbreite thermoplastischer Hohlkörper in hohen Ausstoßleistungen zu produzieren.

### 1.2.2 Duroplaste

Der Vollständigkeit halber soll erwähnt werden, dass auch duroplastische Harze zu Hohlkörpern verarbeitet werden können. Duroplaste finden in der Regel Anwendung für technische Bauteile, große Tanks oder Silos. Sie werden häufig mit Glasfasern, Kohlenstofffasern oder anderen Verstärkungsfasern verstärkt. Es kommen Verfahren wie das Faser-Harz-Sprühen auf einen Kern, Faserwickelverfahren und das Handlaminieren als die am häufigsten verwendeten Verfahren zum Einsatz. In einem Anwendungsbeispiel werden extrusionsblasgeformte Innenbehälter (sog. Liner) aus PE-HD mit Glasfasern und ungesättigtem Polyesterharz umwickelt. Die so erzeugten druckfesten Behälter werden dann in einen spritzgegossenen Außenbehälter eingefügt und am Markt als leichtgewichtige Flüssiggasbehälter angeboten.

## ■ 1.3 Anwendungsbereiche für blasgeformte Hohlkörper

Durch Blasformen werden Hohlkörper aus thermoplastischen Kunststoffen mit nahezu beliebiger Geometrie gefertigt. Das sind zum Beispiel pharmazeutische Verpackungen mit Inhalten unter einem Milliliter und technische Artikel (z. B. Kunststoff-Kraftstoff-Behälter (KKB), Luftführungen im Kfz oder Öltanks) mit bis zu 10 000 l Fassungsvermögen. Die am häufigsten eingesetzten Verfahren sind das Extrusionsblasformen und das Streckblasformen, auf die in diesem Buch detailliert eingegangen wird. Während durch Streckblasformen nahezu ausschließlich Flaschen aus PET (seltener auch PEN oder PVC, neuerdings auch PLA) in hohen Stückzahlen hergestellt werden, ist das Spektrum für extrusionsblasgeformte Hohlkörper ungleich größer.

Typische Extrusionsblasteile sind Transport-, Verpackungs- und Lagerbehälter, wie Flaschen (Bild 1.1 und Bild 1.2), Dosen, Tuben, Kanister (Bild 1.3), Fässer und Lager-tanks zum Beispiel für Heizöl und Chemikalien (Bild 1.4), IBC (Intermediate Bulk Container, Bild 1.5) und faltbare, thermisch isolierende Transportboxen, z. B. mit Drainagerinnen im Boden für gefrosteten Fisch. Letztere lassen sich nach Gebrauch platzsparend flachlegen und im Mehrwegsystem wiederverwenden.



**Bild 1.1** Extrusionsblasgeformte Flaschen (Bild: Kautex Maschinenbau)



**Bild 1.2** Extrusionsblasgeformte PC-Wasserflaschen (Bild: Kautex Maschinenbau)



**Bild 1.3** Extrusionsblasgeformte Kanister (Bild: Kautex Maschinenbau)



**Bild 1.4** Extrusionsblasgeformte industrielle Großverpackungen (Fässer und Lagertanks)  
(Bild: Kautex Maschinenbau)



**Bild 1.5** Extrusionsblasgeformter Intermediate Bulk Container (IBC)  
(Bild: Kautex Maschinenbau)



**Bild 1.6** Extrusionsblasgeformter Kunststoffkraftstoffbehälter (KKB) (Bild: Kautex Maschinenbau)

Eine wachsende Bedeutung haben auch technische Blasformteile für Kraftfahrzeuge, wie Kunststoff-Kraftstoffbehälter (Bild 1.6), Kraftstoff-Einfüllrohre, Öl- und Wasserbehälter, Ausgleichsbehälter, Spoiler, Stoßfängerträger, Kopfstützen, Armaturentafeln, Kindersitze, Faltenbälge sowie Luftführungskanäle, Ansaugleitungen und weitere Rohrleitungen im Innen- und Motorraum (Bild 1.7).

Für die Hausgeräte- und Elektronikindustrie werden unterschiedlichste Teile, wie Sprüharne für Geschirrspüler, Gerätetüren und -wände für Waschmaschinen und Computer (Bild 1.8), Entsalzergehäuse, Kondensationstrocknerbehälter, Staubsaugergehäuse- und -Auffangbehälter, Boilergehäuse, Wasserführungsteile, Fußbodenheizungselemente, Sitzschalen und Tanks für Rasenmäher etc. nach dem Extrusionsblasformverfahren gefertigt. Hinzu kommen Blasformteile für die Sport- und

Freizeitindustrie (Kajaks, Paddleboards, Ski-Boxen, Kühlboxen und -Akkus, Kleinkinderfahrzeuge, Teile für Kindertraktoren, Klettergerüste, Rutschen usw.), die Medizintechnik (z. B. Behälter für Blutdruckmessgeräte, Klistierbehälter, Infusionsflaschen, Augentropfenpipetten, Ampullen usw.) und Koffer für Werkzeuge, Videokassetten, Mikroskope, Nähmaschinen oder Laptops etc., meist mit integrierten Aufnahmevorrichtungen [2].



**Bild 1.7** Extrusionsblasgeformte technische Teile (Bild: Kautex Maschinenbau)



**Bild 1.8** Extrusionsblasgeformtes flaches Panel  
(Unterbodenverkleidung)  
(Bild: Kautex Maschinenbau)



**Bild 1.9** Extrusionsblasgeformtes flaches Panel (Tischplatte) (Bild: Kautex Maschinenbau)

## ■ 1.4 Historie des Blasformens von Hohlkörpern

*[nach 10]*

Das Herstellen von Hohlkörpern durch Aufblasen ist eine sehr alte Technik. Glas war der erste Werkstoff, der verblasen wurde. In Meyers Konversationslexikon sind Angaben über ein Relief in den Königsgräbern von Ben Hassan zu finden, auf denen Glasbläser bei der Arbeit dargestellt sind. Das Relief ist auf 1800 v. Chr. datiert. Die älteste Glashütte wurde in Ägypten gefunden und ist ungefähr auf 1350 v. Chr. datiert. Der Entwicklungsprozess des Blasformens bis zum heutigen Stand erfolgte also in annähernd 4000 Jahren und ist noch nicht abgeschlossen.

Zum Glasblasen wird eine Glasmacherpfeife verwendet, die aus einem 100 bis 150 cm langen Eisenrohr besteht. Die Pfeife ist an einem Ende mit einem Mundstück und in der Mitte mit einem isolierten Griff versehen. Mit dieser Pfeife entnimmt der Glasmacher einen Posten Glas aus der Schmelze und bläst ihn zu einem Hohlkörper auf. Durch geschicktes Wiedererhitzen und ständiges Blasen und Rotieren kann eine große Blase erzielt werden. Diese wird durch Schwingen der Blase am Ende der Pfeife zu einem Zylinder geformt [3]. Wesentlicher Entwicklungsschritt des Glasblasens war die Verwendung von so genannten „Modeln“ - Hohlformen aus Holz. Durch diese Formen ist es möglich, größere Stückzahlen von Glasgefäßen der gleichen Gestalt und durch Einsatz mehrteiliger Modeln auch kompliziertere Geometrien zu fertigen.

Die Entwicklung der ägyptischen Kunst des Glasblasens bis zu den heute industriell eingesetzten Blasformtechniken zur Herstellung von Kunststoffhohlkörpern erfolgte im Wesentlichen angetrieben durch:

- die Markterfordernisse ökonomischer, aber auch ökologischer Art;
- die Entwicklung und wirtschaftliche Verfügbarkeit geeigneter Rohstoffe, die den Besonderheiten dieser Verarbeitungstechnik gerecht wurden und darüber hinaus neue Anwendungsbereiche erst erschlossen (z. B. im Bereich der Kunststoff-Kraftstoff-Behälter);
- die Fortschritte in den allgemeinen Maschinenbautechnologien.

In einer US-Patentschrift vom 24. Juni 1851 mit dem Titel „Improvement in Making Gutta-Percha Hollow Ware“ (Verbesserung in der Herstellung von Hohlkörpern aus Guttapercha<sup>1</sup>) beschreibt S.T. Armstrong die Bildung eines rohrartigen Vorformlings, der durch Innendruck an eine Werkzeugwand geblasen wird [4]. Guttapercha ist ein Kautschukprodukt und wird aus dem Guttapercha-Baum gewonnen. Damit hatte die industriell genutzte Blasformtechnologie ihren Anfang genommen. Es folgten weitere Patente, die die Verarbeitung von Celluloid und Gummi zu vornehmlich technischen Artikeln und Spielzeug (Bild 1.10) beschreiben; so z. B. auch zu Weihnachtsbaumkugeln, indem zwischen zwei Celluloidfolien Dampf eingeblasen wird, sodass diese erweichen und sich beim Zufahren der Form an die Kontur anlegen; die Folienränder werden hierbei verschweißt. Der Verarbeitung der damals verfügbaren Materialien waren allerdings Grenzen gesetzt. Bevor weitere Entwicklungen auf dem Gebiet der Verfahrenstechnik möglich waren, mussten neue Materialien gefunden werden, die die hohen Anforderungen an die Verarbeitbarkeit erfüllten.

Im Jahr 1835 gelang dem Chemiker Henri Viktor Regnault (1810 bis 1878) erstmals die Polymerisation von Vinylchlorid. Aber erst 1929 wurde ein Produktionsverfahren zur Herstellung von Polyvinylchlorid (PVC) durch die Firma I.G. Farben, Ludwigshafen entwickelt. 1939 wurden in Deutschland ca. 2000 t PVC produziert und auch exportiert [6]. Nach dem Zweiten Weltkrieg hatte die USA mit einer Produktion von 250 000 t PVC im Jahr 1959 Deutschland überholt.

Die Geschichte der Polyolefine begann am 27. März 1933 in den Laboratorien der ICI, als R.O. Gibson bei einer mit Ethylen und Benzaldehyd durchgeführten Reaktion (170 °C, 1400 bar) auf der Innenwandung des Autoklaven einen weißen, wachsartigen Belag entdeckte, der sich als Polyethylen erwies. Nach vielen Fehlschlägen führte erst im Dezember 1935 ein Versuch – und zwar nur dank eines undicht gewordenen Autoklaven – zur Gewinnung von 8 g Polyethylen. Die entwichene Ethylenmenge wurde durch frisches Ethylen ersetzt, das zufällig die zur Auslösung der Polymerisation richtige Sauerstoffmenge enthielt. Am 3. September 1939 lief eine

---

<sup>1</sup> Guttapercha (Guttapertja, von getah-pertcha = Milchsaft, schnellgerinnender Milchsaft von angeritzten Bäumen, z. B. *Palaquium gutta* oder *Sapotacae*): thermoplastische Eigenschaften im Temperaturbereich unter 100 °C, auch vulkanisierbar ähnlich Kautschuk, chemische Formel  $(C_5H_8)_n$  [4].



200 t/a-Anlage an. Dieser verlustarme Isolationswerkstoff spielte in der Radartechnik der Alliierten im Zweiten Weltkrieg eine entscheidende Rolle. Mit der Umstellung der amerikanischen Kriegsproduktion auf den zivilen Bedarf begann der einmalige Siegeszug des so genannten Hochdruckpolyethylens [7].



**Bild 1.10** Babyrasseln aus Cellulosenitrat, ca. 1890 [5]

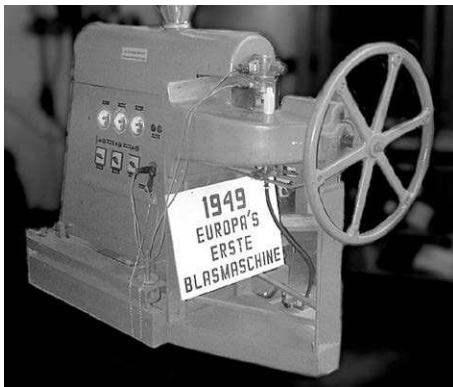
Wenige Jahre danach erzielte die inzwischen weltweit betriebene Polyolefinchemie neue bahnbrechende Erfolge. Der Phillips Petroleum Comp., der Standard Oil of Indiana und K. Ziegler vom Max Planck Institut für Kohleforschung in Essen-Mühlheim gelangen 1953 in kurzem zeitlichen Abstand die Niederdruckpolymerisation von Ethylen. G. Natta, Mailand, fand auf der Grundlage der Zieglerschen Arbeiten Wege, auch die höheren  $\alpha$ -Olefine zu polymerisieren und durch die Wahl spezifisch wirkender Katalysatoren und entsprechender Prozessführung die sog. stereoregulierte Polymerisation von Propylen und Buten-1 durchzuführen. ICI ergänzte im Jahre 1967 das Sortiment durch das transparente Poly-4-methylpenten-1, das heute nur noch in Japan hergestellt wird.

Im Jahr 1977 berichtet die Union Carbide Corp. (UCC), dass es ihr gelungen sei, nach ihrem für PE-HD entwickelten Gasphasen-Verfahren auch ein lineares Niederdruckpolyethylen (PE-LLD) herstellen zu können. Damit gewann eine bereits seit Mitte der 1960er Jahre (DuPont Canada Sclair) und 1970 (Philips) bekannte, jedoch wenig beachtete neue PE-Produktfamilie weltweit das Interesse von Forschung und Entwicklung.

Die Weiterentwicklung des Blasformens erfolgte erst, nachdem in den dreißiger Jahren des 20. Jahrhunderts neue Materialien zur Verfügung standen. Die Glasindustrie der USA begann, Behälter und Verpackungen aus PVC zu fertigen. Die neuen Behälter waren weniger zerbrechlich als Glas, und die US-Glasindustrie schaffte es, dass sich bis nach dem Ende des Zweiten Weltkrieges keine externe Konkurrenz auf dem Markt etablieren konnte [6]. In den Jahren von 1938 bis 1945 wurde eine Vielzahl von Patenten zum Blasformen vornehmlich von der amerikanischen Glasindustrie angemeldet. Bemerkenswert ist das US-Patent Nr. 2,260,750 mit dem Titel „Method of a Machine for Making Hollow Articles from Plastic“ von William H. Kopitke (Plax

Corp.), 1938. Es beschreibt die Herstellung eines Vorformlings und das Blasformen in erster Wärme. Für das US Army Medical Corps wurden zum erstenmal in den Jahren 1939 bis 1946 in einer industriellen Serienfertigung Kunststoffflaschen von der Firma Owens Illinois Glascorporation produziert [6]. Heute können die damals eingesetzten Verfahren dem Spritzblasen zugeordnet werden.

Die Entwicklung der Blasformtechnologie erfolgte in Europa gegen Ende der 40er Jahre und damit etwas später als in den USA. Dort lag die Entwicklung hauptsächlich in der Hand der Glasindustrie. Folglich basierten viele der neuen Techniken für die Verarbeitung der Kunststoffe auf den Techniken zur Verarbeitung von Glas. Um die Monopolstellung nicht zu gefährden, bildete die US-Glasindustrie eine in sich geschlossene Gruppe von „Kunststoffbläsern“. Somit verliefen die Entwicklungen in Europa völlig unabhängig von denen der USA. Es waren vornehmlich deutsche Ingenieure und Unternehmer, die sich als Pioniere der Blasformtechnik einen Namen machten. Hierzu zählten vor allem Protagonisten wie die Gebrüder Reinold und Norbert Hagen (Kautex Werke ab ca. 1948) (Bild 1.11), Stefan und Rainer Fischer (Fischer W. Müller ab ca. 1957), Gottfried und Horst Mehnert (Bekum ab ca. 1959), M. Rudolf (Rudolf) und Erhard Langecker (Battenfeld) [6].



**Bild 1.11** Europas erste Blasformmaschine (Bild: Kautex Maschinenbau)

Die Kautex Werke, die heute in das Unternehmen Kautex Maschinenbau GmbH und in den Kunststoffverarbeiter Kautex Textron GmbH & Co. KG übergegangen sind, waren seit ihrer Gründung in Bonn ansässig. Um 1955 überquerten die ersten Blasformautomaten der Firma Kautex den Atlantik und brachten Bewegung in die Entwicklungen in den USA [4].

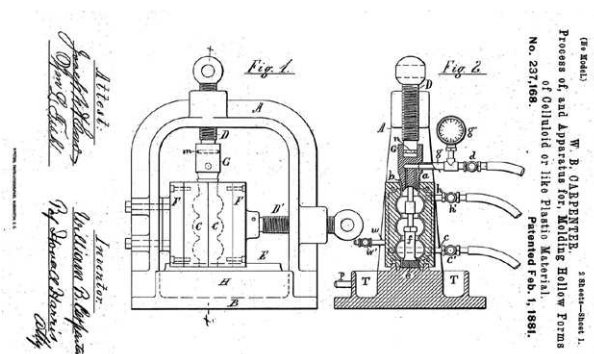
Nicht weit von Bonn, in Troisdorf, ist eine Niederlassung des Dynamit Nobel-Konzerns [8]. Bereits Alfred Nobel experimentierte mit Ersatzstoffen für Kautschuk, Guttapercha und Leder auf der Basis von Nitrozellulose. Dies waren erste Ansätze zur modernen Kunststoffchemie und Kunststoffverarbeitung, die für Dynamit Nobel von besonderer Bedeutung werden sollten. 1905 produzierte das Werk Troisdorf den ersten technisch verwertbaren Kunststoff: Der Sprengstoff-Rohstoff Nitrocellu-

lose wurde zu Celluloid verarbeitet. 1923 kam die erste Spritzgießmasse der Welt auf den Markt. Die Herstellung von Kunststoff-Formteilen begann. 1930 nahm die „Rheinische Spritzguss-Werk GmbH“ (RSW) in Köln, auf die die jetzige Dynamit Nobel Kunststoff GmbH zurückgeht, die Produktion auf.

Durch die Entwicklungen bei Dynamit Nobel angeregt, konstruierten die Gebrüder Hagen die ersten Formteile aus Kunststoffplatten. Die Konstruktion war aus der Blechverarbeitung mit den Schritten Biegen und Schweißen abgeleitet. Um die Fertigung zu vereinfachen und wirtschaftlicher zu werden, entwickelten die Gebrüder Hagen 1949 die erste Extrusionsblasformmaschine, die es ermöglichte, Flaschen, Behälter und andere Hohlkörper aus Kunststoff herzustellen [9]. Merkmale der Maschine, wie z.B. die Anordnung des Blasdornes, sind noch heute in modernen Blasformmaschinen wiederzufinden. Ein Nachbau dieser Blasmachine steht im Technikum der Dr. Reinold Hagen Stiftung, Bonn, die Dr. Reinold Hagen aus dem Erlös des Firmenverkaufs im Jahr 1988 gegründet hat. In den Folgejahren etablierten sich die blasgeformten Kunststoffverpackungen als bruchsicher und chemisch resistent. Durch Blasformen konnten wesentlich aufwändigere Geometrien erzeugt werden, als es in Metall bzw. Stahlblech möglich war [4]. Bis in die 60er Jahre wurde der größte Teil der Grundlagen, auf denen noch heute Markt und Technik für das Extrusionsblasformen aufbauen, erarbeitet [4]. Die in dieser Zeit entwickelten Verfahren und der aktuelle Stand der Technik werden im nächsten Kapitel zur Verfahrensbeschreibung des Extrusionsblasformens vorgestellt.

Einige Pioniere der Blasformtechnik sind:

- 1851: US-Patent 8,180
  - Sammlung T. Armstrong, New York, N.Y.
  - Improvement in Making Gutta-Percha Hollow Ware
- 1881: US-Patent Nr. 237,168
  - W.B. Carpenter
  - Process of, and Apparatus for, Molding Hollow Forms of Celluloid or Like Plastic Material (Bild 1.12)



**Bild 1.12** Auszug aus US Patent 237,168 (1881)

- *1913*: US-Patent 1,052,081
  - E. Miltener
  - Manufacture of Handles of Plastics Material
- *1936*: US-Patent 2,029,706
  - W.J. De Witt
  - Method and Apparatus for Hosiery Products
- *1940*: US-Patent Nr. 2,222,461
  - W.J. De Witt
  - Hosiery Form
- *1941*: US-Patent 2,260,750
  - W.H. Kopitke
  - Method of and Machine for Making Hollow Articles from Plastic
- *1942*: US Patent Nr. 2,288,454
  - J.R. Hobson
  - Method of Forming Hollow Articles of Plastic Material
- *1942*: US Patent Nr. 2,298,716
  - S.T. Moreland et. al.
  - Machine for Molding Thermoplastics

Eine (sicher unvollständige) Übersicht von deutschen Patent- und Gebrauchsmusterschriften gibt die folgende Liste:

- *1899*: Deutsches Patent Nr. 112 770
  - Rheinische Gummi- und Celluloid Fabrik, Neckarau-Mannheim
  - Verfahren zur Herstellung geblasener Hohlkörper aus Celluloidröhren
- *1959*: DE 971 333
  - Reinold und Norbert Hagen
  - Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von Flaschen und ähnlichen mit einer Einfüllöffnung versehenen Hohlkörpern aus thermoplastischem Kunststoff
- *1959*: DE 1 807 234
  - Gottfried Mehnert, Bekum, Gebrauchsmuster:
  - Vorrichtung zur Herstellung von Hohlkörpern aus thermoplastischem Kunststoff, wie Flaschen und anderen, mit einer Einfüllöffnung versehenen Behältern
- *1965*: DE1038750
  - Reinold Hagen
  - Blasverfahren zur Herstellung von Flaschen und ähnlichen Hohlkörpern aus organischen thermoplastischen Kunststoffen sowie Vorrichtung zu deren Durchführung

- 1961: DE1109353
  - Norbert Hagen
  - Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von Flaschen und dgl. aus thermoplastischem Kunststoff
- 1965: DE1187006
  - Gottfried Mehnert
  - Blasdüse zum Kalibrieren der aus Halsteil und Randlippe bestehenden von im Blasverfahren herzustellenden Hohlkörpern aus thermoplastischen Kunststoffen
- 1968: DE1130151
  - Norbert Hagen
  - Verfahren beim Herstellen von Hohlkörpern, wie Flaschen aus thermoplastischem Kunststoff und Hohlform zur Durchführung desselben

### 1.4.1 Entwicklung der PET-Streckblastechnologie

Bei dem englischen Rohstoffhersteller ICI wurde im Jahre 1941 die gute Eignung des PET zum Herstellen und Verstrecken von Fasern für die Textilindustrie entdeckt und bis in die 50er Jahre weiterentwickelt. Seitdem ist der Verbrauch von PET als Rohstoff für die Textilindustrie bis heute auf über 29 Millionen Jahrestonnen gewachsen.

Von ca. 1960 an wurde die Verarbeitung von PET zu Folien und das biaxiale Verstrecken dieser Folien für die Verpackungsindustrie entwickelt. Dabei wurde festgestellt, dass die Eigenschaften der Folien durch sequentielles Verstrecken in der Längs- und anschließend der Querrichtung wesentlich verbessert werden konnten. So zeigten biaxial verstreckte Folien hervorragende mechanische Eigenschaften und eine sehr geringe Gas-Durchlässigkeit auf.

Gleichzeitig begann in den 60er Jahren der Hamburger Maschinenbauer Heidenreich & Harbeck (Vorgänger der heutigen SIG Corpoplast) mit der Entwicklung einer Hochleistungsblasmaschine zum Streckblasformen von Flaschen aus PVC für Bier.

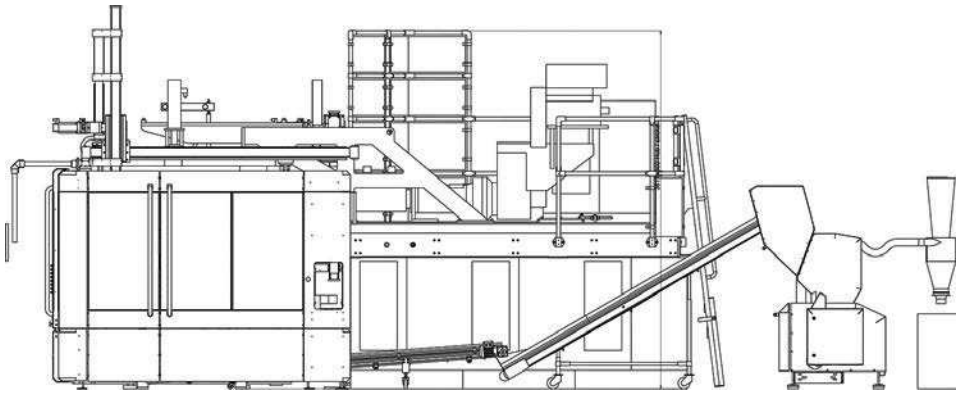
Die Herstellung von Flaschen aus PET wurde dann in den frühen 70er Jahren bei Du Pont in den USA entwickelt und 1973 zum Patent angemeldet [11]. Wirtschaftliche Bedeutung erlangte es erst ca. 10 Jahre später in den 80er Jahren in der Getränkeindustrie. Bis zu dieser Zeit wurden kohlenensäurehaltige Erfrischungsgetränke in Glasflaschen und Dosen abgefüllt und vertrieben. Beide Materialien eignen sich aufgrund ihres spezifischen Gewichtes und der Bruchgefahr beim Glas nicht für großvolumige Behälter mit einem Volumen von über einem Liter. Durch die Verwendung von PET als Rohstoff konnten erstmals Erfrischungsgetränke in Flaschen mit einem Volumen von 2,0 l vermarktet werden. Der Erfolg des PET bei großen Volu-

men hat dann zur Substitution anderer Verpackungsmaterialien geführt. So betrug beispielsweise das mittlere Volumen von PET-Flaschen 1990 noch mehr als 1,5 l und ist bis 2004 auf unter 0,8 l gesunken. Im gleichen Zeitraum ist der Verbrauch von PET zur Herstellung von Flaschen um den Faktor 30 gestiegen und beträgt heute mehr als 14 Millionen Tonnen pro Jahr.

In 2018 wurden über 40 % aller Erfrischungsgetränke und über 70 % des stillen und karbonisierten Wassers in PET abgefüllt. Mit den Saft- und Fruchtsaft-, den Sport- und Energie- sowie den Tee- und Kaffeegetränken füllt die Getränkeindustrie heute über 450 Milliarden Liter in PET ab. Der Anteil des PET am gesamten Verpackungsmix für die Abfüllung von Getränken lag damit in 2008 bei fast 50 % und wächst kontinuierlich [12]. Typische Liniengeschwindigkeiten in der abfüllenden Industrie betragen heute 300 bis 1000 Flaschen pro Minute.

### Literatur zu Kapitel 1

- [1] Illig, A.: Thermoformen in der Praxis, Hanser, 1997
- [2] Ast W.: in: Johannaber F.: Kunststoffmaschinenführer, 4. Ausgabe, Hanser, 2004
- [3] Internetzugriff am 5.7.2019, <http://www.mc-bailleux.ch/glasgeschichte.htm>
- [4] Holzmann R.: Die Entwicklung der Blasformtechnik von ihren Anfängen bis heute, Kunststoffe 69(1979)10, S. 704 (urspr. Quelle dort nicht näher verzeichnet)
- [5] DuBois, J. H.: Plastics History U.S.A., Cahners Pub. Co., Boston, 1972
- [6] Müller, A.: Studien zur Prozesssimulation des Blasformens, unveröffentlichte Studienarbeit am Institut für Mechanik und Regelungstechnik der Universität-Gesamthochschule Siegen, 1998
- [7] Domininghaus, H.: Kunststoffe: Eigenschaften und Anwendungen, 5. Auflage, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1998
- [8] Internetzugriff am 23.12.1998, <http://www.dynamit-nobel.com/deutsch/nbsp/index.html>
- [9] Internetzugriff 28.12.1998, <http://www.labtops.de/catalogue/dt/28001dt.htm> (Link zum Stand 2019 nicht mehr verfügbar, aktuellere Quellen nicht bekannt.)
- [10] Gust, P.: Prozess-Simulation des Extrusionsblasformens von Kunststoffhohlkörpern, Dissertation an der Universität Siegen, 2001
- [11] Wyeth, N.; Roseveare, R. N.: Biaxially oriented Poly(ethylene Terephthalate) Bottle, U.S. Patent, 1973; V.-Nr.: 3 733 309
- [12] Fa. Kronen, persönliche Information 2019



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

### 2.3.2 Extruder und Schnecken

*In Anlehnung an Wolfgang Löw [8]*

Eine Blasformmaschine sollte im Hinblick auf die verschiedenen thermoplastischen Rohstoffe möglichst universell einsetzbar sein. Bezogen auf die am häufigsten eingesetzten Rohstoffe PE und PP ist dieser universelle Einsatz nicht mit allen Bauarten möglich; universell einsetzbar sind die Maschinen, die mit Nutbuchsen-Extrudern ausgerüstet sind [8]. Generell werden in der Extrusionsblasformtechnik heute nahezu ausschließlich Einschneckenextruder eingesetzt.

An einen Extruder werden zahlreiche Forderungen gestellt [9]:

- problemloses Einziehen, Fördern und Verdichten des Materials,
- Verarbeitung von Neuware und Mahlgut (Verarbeitungsbandbreite),
- hohe Durchsätze bei ausreichender thermischer und stofflicher Homogenität,
- Erreichen und Einhalten einer optimalen Schmelztemperatur,
- möglichst geringe Veränderung der Materialeigenschaften durch Abbau,
- Abmischung verschiedener Komponenten und Additive,
- pulsationsfreier Betrieb,
- günstiges energetisches Betriebsverhalten,
- geringer Verschleiß an Schnecke und Zylinder.

Die verschiedenen quantitativen und qualitativen Zielgrößen können einander entgegenstehen. Daher sind Prioritäten zu definieren bzw. Kompromisse einzugehen. In Bezug auf Konstruktions-, Funktions- und Betriebsweise ist zu unterscheiden zwischen „konventionellen“ Glattrohrextrudern und Nutbuchsenextrudern [9].

### 2.3.2.1 Glattrohretruder

Die in anderen Ländern häufiger anzutreffenden Blasformmaschinen mit Glattrohr-Extrudern sind mehr oder minder auf die Verarbeitung von niedrig- bis mittelmolekularen Polyolefin-Typen beschränkt. Glattrohr-Extruder sind kostengünstiger als solche mit genuteter Einzugszone und zeigen geringeren Schneckenverschleiß. Die Energiebetriebskosten sind geringer, weil keine intensive Kühlung bzw. Temperierung der genuteten Einzugszone (s. u.) erforderlich ist. Glattrohr-Extruder (Länge  $25 D$ , an Blasformmaschinen seltener bis  $30 D$ ) eignen sich durchaus für die universelle Verarbeitung von PE und PP bis zum Bereich von Rohstoffen mittleren Molekulargewichts, also niedriger bis mittlerer Schmelzeviskosität.

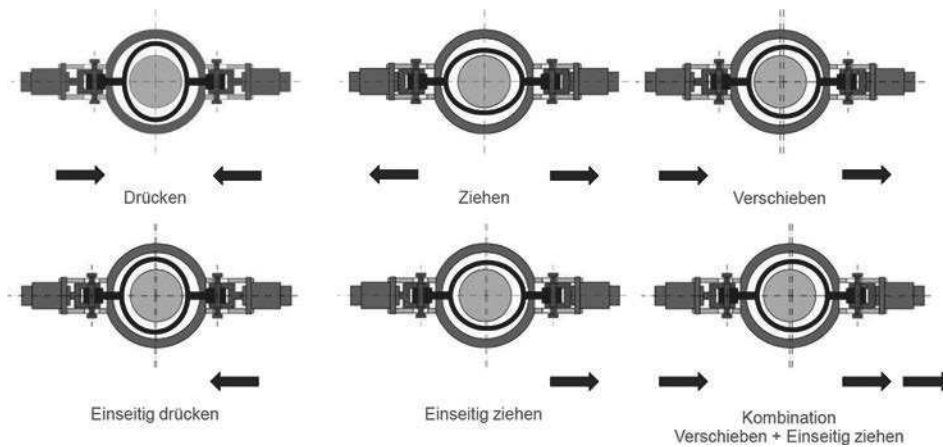
Sollen aber höherviskose, hochmolekulare PE- und PP-Typen verarbeitet werden, sinkt der Förderwirkungsgrad von Glattrohr-Extrudern für diese Rohstoffe meist ab; dies führt zu überhöhten Schmelzetemperaturen bei verringertem Durchsatz. Die hohen Temperaturen beeinträchtigen die Fertigungsqualität und machen die Produktion bestimmter Formteile oft unmöglich, da die Festigkeit der Schmelze stark reduziert ist. Dies hat eine unkontrollierbare Auslängung des Vorformlings zur Folge.

Glattrohr-Extruder sind also insbesondere für die Großserienfertigung von Kleinhohlkörpern aus nieder- und mittelmolekularen PP- und PE-Typen unter konstanten Extrusionsbedingungen geeignet. Antriebsseitig benötigt PP etwa die gleiche Energie wie PE, nämlich im Dauerbetrieb maximal  $0,23$  bis  $0,25$  kWh/kg. Beim Anfahren und bei Drehzahlsteigerungen können jedoch kurzzeitig Spitzenwerte auftreten, die etwa  $25$  bis  $32\%$  darüber liegen. Diese Werte beziehen sich auf die aufgenommene elektrische Wirkleistung des Antriebsmotors; Getriebe- und Drucklagerverluste sind also einbezogen. Liegen die Werte höher als angegeben, ist die Schnecke nicht optimal und leitet zu viel Scherenergie in die Schmelze, die dadurch übertemperiert wird.

Für Schneckenlängen von  $25$  bis  $30 D$  empfiehlt sich für PP und PE der Einsatz von Dekompressionsschnecken mit üblicherweise zwei Mischteilen. Scherteile sollten vermieden werden. Als Beispiel ist in Bild 2.7 die Geometrie für eine Schnecke mit  $D = 60$  mm und einer effektiven Länge von  $25 D$  angegeben. Die Mischteile bestehen aus Ringen, die am Umfang acht Lücken mit je ungefähr  $8,6$  mm Breite aufweisen und in die Austragszone integriert sind.

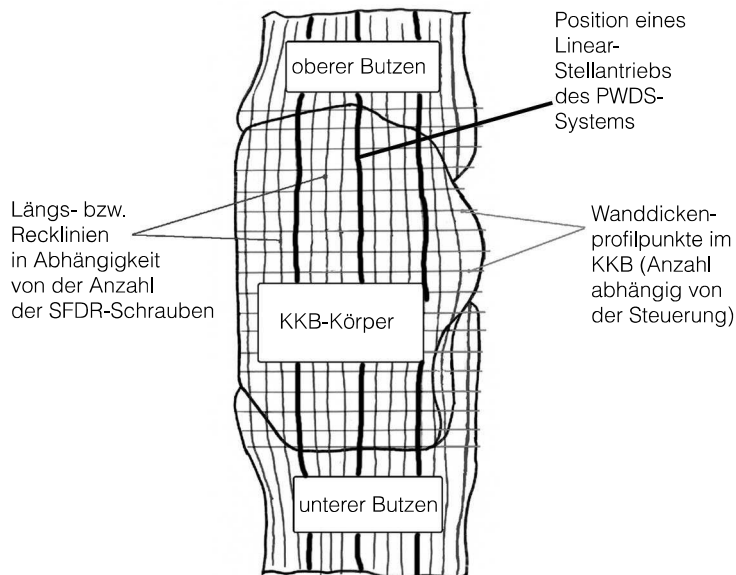
Die Maximaldrehzahl einer solchen Schnecke sollte etwa  $82$  bis  $90 \text{ min}^{-1}$  betragen. Je nach Material sollten etwa  $80$  bis  $90\%$  der Maximaldrehzahl genutzt werden. Bei normalem Gegendruck ( $P_{\text{max}} \sim 260$  bar) ist bei dieser Schnecke für PP zu erwarten, dass der Durchsatz ( $Q$ ) pro Umdrehung ( $Q/n$ -Wert) für Drehzahlen  $n > 50 \text{ min}^{-1}$  etwa  $0,68$  bis  $0,75$  kg pro Umdrehung pro Minute beträgt. Baut der Kopf höhere Gegendrucke auf, sinkt der Durchsatz dieses gegendruckempfindlichen Systems leicht um  $10$  bis  $15\%$  bei gleichzeitiger Erhöhung der Schmelzetemperatur.





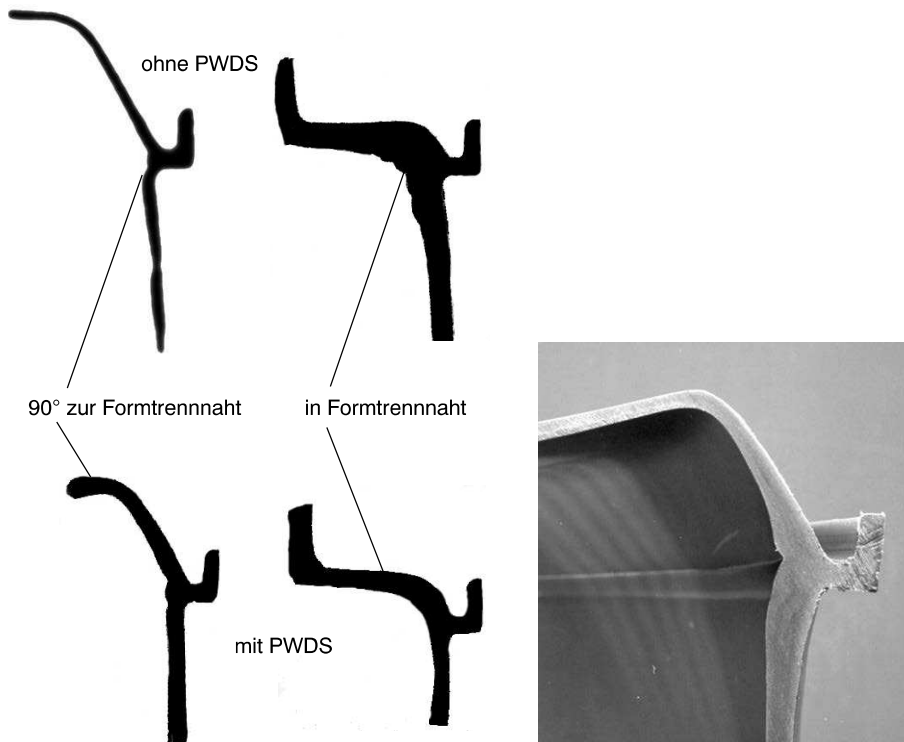
**Bild 2.26** Beispielhafte Einstellungen der PWDS (Bild: Dr. Reinold Hagen Stiftung)

Eines der wichtigsten Anwendungsgebiete sind Kunststoffkraftstoffbehälter (KKB), die zum Teil sehr komplexe Formen aufweisen und aus Sicherheitsgründen und zur Materialeinsparung eine gleichmäßige Wanddickenverteilung aufweisen müssen. Bild 2.27 zeigt eine schematische Darstellung des prinzipiellen Verlaufs der Profilpunkte der Wanddickensteuerung und der zu den Verstellschrauben des SFDR korrespondierenden Längs- bzw. Recklinien bei einem KKB.



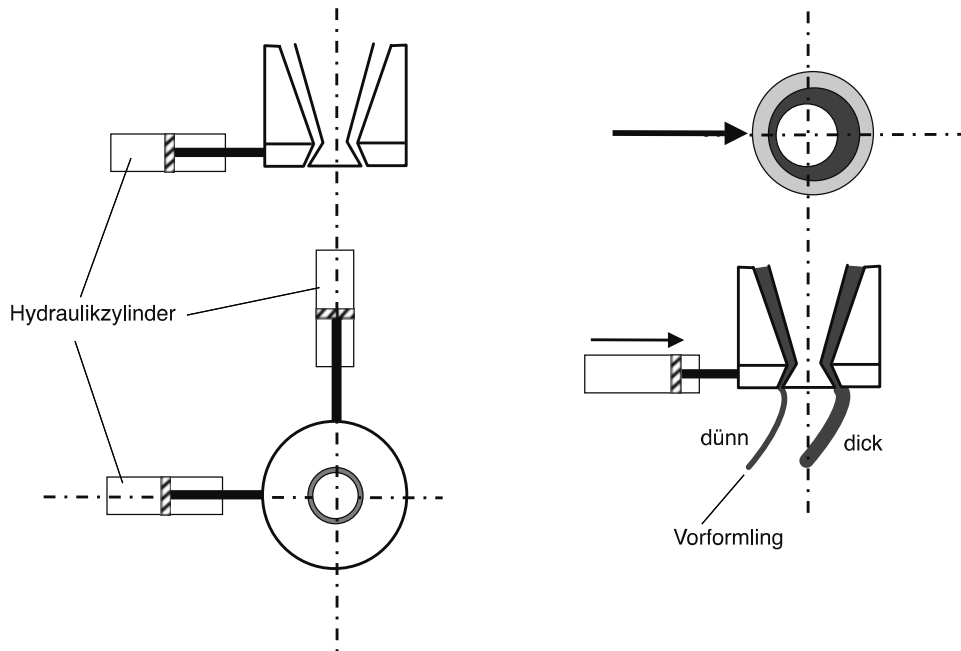
**Bild 2.27** Schematische Darstellung der beeinflussbaren Profilpunkte bei einem KKB [16]

Auch industrielle Verpackungen wie Fässer oder IBCs sowie Kanister für den Gefahrguttransport (mit UN-Zulassung) werden mit PWDS hergestellt. Hier ist eine gleichmäßige Wanddickenverteilung im gesamten Blasformteil, insbesondere aber der Ausgleich des Wanddickenunterschiedes von dem Formtrennahtbereich und  $90^\circ$  hierzu (Bild 2.28 und Bild 2.29) besonders wichtig. Aufgrund des Flachlegens des Vorformlings beim Abquetschvorgang ist die Wandstärke des Artikels aufgrund des geringeren Reckweges im Bereich der Formtrennaht in der Regel dicker als in anderen Bereichen des Blasformteiles, wenn dies nicht durch den Einsatz von PWDS und SFDR entsprechend kompensiert wird (Bild 2.30). Bild 2.31 zeigt die durch Zusammenspiel von WDS, PWDS und SFDR erzeugten Düsenpaltweiten für den gesamten Vorformling eines L-Ring-Fasses [16].



**Bild 2.28** Wanddicken eines L-Ring-Fasses in der Formtrennaht und  $90^\circ$  dazu  
(Bild: Feuerherm)

position, so ist der Düsenring zentriert und die Wanddicke über den Vorformlingsumfang konstant. Mit Hilfe der beiden Hydraulikzylinder kann nun der Düsenring in jede beliebige Richtung verschoben werden, sodass sich ein exzentrischer Düsenpalt einstellt. So kann die Wanddicke an jedem Punkt des Umfangs effektiv beeinflusst werden, und die Wanddicke des Blasformteils ist auch in Bogenbereichen gleichförmig.



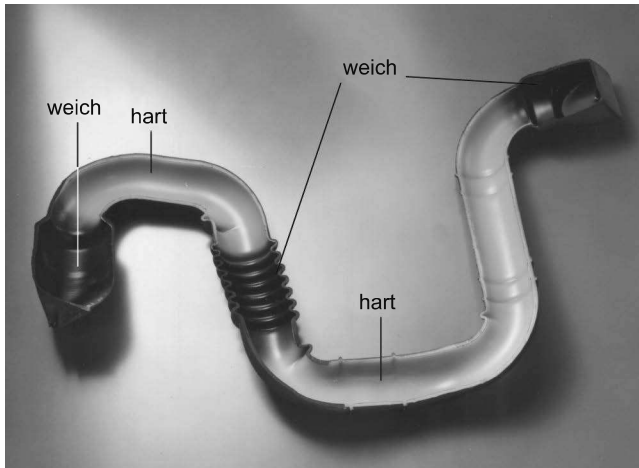
**Bild 2.86** Radiale Wanddicken-Steuerung (Bild: Kautex Maschinenbau)

#### 2.6.4 Sequenzielle Coextrusion

*In Anlehnung an [37]*

Eine spezielle Verfahrensvariante ist die Kombination des 3D-Blasformens mit der sequenziellen Coextrusion (SeCo) etabliert. Sie zeichnet sich dadurch aus, dass zwei unterschiedliche Materialien in alternierender Folge hintereinander ausgestoßen werden. Bevorzugte Materialkombinationen für die sequenzielle Coextrusion sind je nach Einsatz-Umgebungstemperatur PP und EPDM, PA und elastomermodifiziertes PA sowie zunehmend auch PBT/TEEE. Auf diese Weise entsteht ein Vorformling mit in Extrusionsrichtung abschnittsweise unterschiedlicher Materialzusammensetzung. Dieses Verfahren wird häufig auch „Hart-weich-hart“-Verfahren genannt [40]. So können bestimmte Artikelabschnitte durch entsprechende Materialauswahl mit spezifisch erforderlichen Eigenschaften ausgestattet werden, beispielsweise für Ar-

tikel mit weichen Enden und hartem Mittelteil oder integrierten weichen Faltenbalg-Bereichen (Bild 2.87). Ein weiteres Beispiel ist die Kombination von temperaturstabilen, etwa verstärkten Kunststoffen mit unverstärkten Materialien an den Anschlussstücken. Auch der mehrfache Wechsel im Formteil ist möglich.



**Bild 2.87** Sequenzielle Coextrusion (hart-weich-hart) (Bild: Kautex Maschinenbau)

Eine spezielle Verfahrensvariante der 3D-Blasformtechnik ist die Kombination mit der sequenziellen Coextrusion zur Erweiterung der Gestaltungsmöglichkeiten für derartige Formteile. Die Integration von Faltenbälgen in komplexe, mehrfach gekrümmte Artikel würde in der konventionellen Blasformtechnik zu Schweißnähten im Faltenbereich führen. Die gewünschte Flexibilität ist dann nur senkrecht zur Naht gegeben. Deshalb wurden diese Artikel lange Zeit – und zum Teil noch immer – mehrteilig aus Metall-, Kunststoff- und Kautschukwerkstoffen gefertigt. Sie können mittels der sequenziellen Coextrusion kosten- und zeitsparend in einem Stück hergestellt werden. Die Substitution solcher Baugruppen durch Blasformteile aus thermoplastischen Elastomerwerkstoffen (TPE) bietet eine Fülle von Vorteilen:

Neben kürzeren Zykluszeiten und geringerem Energieaufwand kann bei TPE-Teilen aufgrund ihrer verbesserten Eigenschaften die Wanddicke reduziert werden, was bei vergleichbaren Rohmaterialkosten einen unmittelbaren Kostenvorteil mit sich bringt. Hinzu kommt die einfache Rezyklierbarkeit von TPE, die keine Entsorgungsprobleme entstehen lässt.

Praktische Anwendung findet dies bei Luftführungskanälen im Automobilbereich, wo die weichen Enden die Dichtfunktion an den Anschlüssen übernehmen und das harte Mittelteil genügend hohe Steifigkeit gegen Deformation aufgrund des vorliegenden Unter- bzw. Überdrucks aufweisen muss. Weitere praktische Anwendungsbeispiele sind Verbindungsschläuche und Manschetten für Maschinen, Weißgeräte- oder Automobilbau mit flexiblen Rohrenden, die sowohl eine gute Abdichtung unter