

Inhalt

Vorwort	XI
Die Autoren	XIII
Verzeichnisse: Kurzzeichen, Abkürzungen und Formelzeichen	XV
1 Einführung	1
1.1 Hohlkörper aus Kunststoff – wozu?	1
1.2 Verfahren zur Herstellung von Hohlkörpern aus Kunststoff	1
1.2.1 Thermoplaste	1
1.2.2 Duroplaste	2
1.3 Anwendungsbereiche für blasgeformte Hohlkörper	3
1.4 Historie des Blasformens von Hohlkörpern	7
1.4.1 Entwicklung der PET-Streckblastechnologie	13
2 Extrusionsblasformen	15
2.1 Prozessablauf beim Extrusionsblasformen	15
2.2 Rohstoffe	17
2.2.1 Kunststoffe	17
2.2.2 Kunststoffe für das Extrusionsblasformen	22
2.3 Maschinentechnik	24
2.3.1 Grundsätzlicher Aufbau einer Blasformmaschine	24
2.3.2 Extruder und Schnecken	25
2.3.2.1 Glattrohretruder	26
2.3.2.2 Nutbuchsen-Extruder	27
2.3.2.3 Gravimetrische Durchsatzregelung	31
2.3.3 Schlauchköpfe	33
2.3.3.1 Stegdornhalterköpfe	33
2.3.3.2 Pinolenköpfe	36
2.3.3.2.1 Wendelverteilerköpfe	38
2.3.4 Kontinuierliche/diskontinuierliche Extrusion	39
2.3.5 Waddickensteuerung	43
2.3.5.1 Schwellverhalten des Vorformlings	44
2.3.6 Systeme zur Beeinflussung der radialen Wandverteilung	46
2.3.6.1 Warum radiale Waddickensteuerung?	46
2.3.6.2 Statisch flexibler Düsenring (SFDR®)	47

2.3.6.3	Partielle Wanddickensteuerung (PWDS®)	48
2.3.6.4	Wanddicken-Lagen-Steuerung	53
2.3.7	Schließeinheiten	56
2.3.8	Steuerungen	62
2.3.8.1	IPC-Steuerung (Industrie-PC)	64
2.3.9	Kühlung	65
2.3.9.1	Schwindung und Verzug	65
2.3.10	Luft	68
2.3.11	Einzel-/Mehrfach-Kopf-Anlagen	69
2.3.11.1	Langhubmaschinen	71
2.3.12	Ein-/Doppelstationen-Maschinen	71
2.3.12.1	Kombinationen der beiden Prinzipien	72
2.3.13	Blasräder	73
2.4	Blasformwerkzeuge	76
2.4.1	Formaufbau	76
2.4.1.1	Prototyp-Formen in Gießharzaufbau	76
2.4.1.2	Prototyp-Formen mit Metalloberfläche und Gießharzhinterfütterung	76
2.4.1.3	Gegossene Prototyp-Formen aus Metallguss	77
2.4.1.4	Prototyp-Formen aus Aluminium	77
2.4.1.5	Produktionsformen	78
2.4.2	Gestaltungsrichtlinien	80
2.4.2.1	Blasformführung	80
2.4.2.2	Schneidkanten	80
2.4.2.3	Formabstützung	82
2.4.2.4	Formentlüftung	83
2.4.3	Blasformkühlung	85
2.4.3.1	Gebohrte Kühlung	86
2.4.3.2	Gefräste Kühlung	86
2.4.3.3	Eingegossene Rohrkühlung	86
2.4.4	Blasformzubehör	88
2.4.4.1	Masken	88
2.4.4.2	Spreizdorne	88
2.4.4.3	Blasdorn	89
2.4.4.4	Kalibrierdorn und Kalibrierblasdorn	90
2.4.4.5	Blasnadel	91
2.4.4.6	Schlauchschießvorrichtung	92
2.4.4.7	Abstreiferplatte	93
2.4.4.8	Kopfwerkzeug (Düse und Kern)	93
2.4.4.9	Einrichtbuchse	93
2.4.5	Prozessintegrierte Folgeverfahren	94
2.4.5.1	Nachkühlen mit einer Nachkühlform	94
2.4.5.2	Komplettbearbeitung in der Blasformmaschine	95
2.4.6	Spritzblas- und Tauchblasformen	97
2.4.7	Rechnereinsatz beim Blasformenbau	97

2.5	Folgeeinrichtungen, Peripherie, „Turnkey“	99
2.5.1	Kühlaggregate	100
2.5.2	Kompressoren	101
2.5.3	Trockner	101
2.5.4	Entbutzen	102
2.5.5	Schneidmühlen	102
2.5.6	Material-Handling	104
2.5.7	Nachkühlung	105
2.5.8	Dichtigkeitsprüfung	106
2.5.9	Füllen	107
2.5.10	Verschließen	107
2.5.11	Etikettieren	108
2.5.12	Bedrucken	108
2.5.13	Verpackung	108
2.5.14	Weitere Peripheriegeräte	108
2.6	Spezielle Verfahrensvarianten	109
2.6.1	Mehrschicht-(Multilayer)/Coextrusionsblasformen	109
2.6.1.1	Coextrusion mit Barrierschicht	110
2.6.1.2	Maschinentechnologie für Mehrschicht/Coextrusion	110
2.6.1.3	Kunststoffkraftstoffbehälter	111
2.6.2	Sheet-Forming zur Herstellung von Kraftstofftanks	116
2.6.3	3D-Blasformen	117
2.6.3.1	Unterschiedliche Maschinentechnologien	119
2.6.3.2	3D-Blasformen und Coextrusion mit Barrierschicht	125
2.6.3.3	Radiale Waddickensteuerung	125
2.6.4	Sequenzielle Coextrusion	126
2.6.4.1	Verfahrenstechnik der sequenziellen Coextrusion	128
2.6.4.2	Maschinentechnik der sequenziellen Coextrusion	129
2.6.4.3	Produktionsziel: stabile Verarbeitungsbedingungen	130
2.6.5	Extrusionsblasformen von Wasserflaschen aus Polycarbonat	131
2.6.5.1	PC bietet Vorteile	132
2.6.5.2	Maschinentechnologie für PC-Wasserflaschen	133
2.6.6	In-Mould-Labeling	134
2.6.7	Sichtstreifenausrüstung	136
2.6.8	In-Mould-Decoration	137
2.6.9	Blow-Moulding-Foam-Technology (BFT)	138
2.6.10	Mucell	140
2.6.11	Blasformen von faserverstärkten Thermoplasten	141
2.6.12	Bottlepack-Verfahren	142
3	Streckblasformen	149
3.1	Einführung	149
3.1.1	Anforderungen aus dem Verpackungsmarkt	151
3.1.1.1	Geometrische Anforderungen	152
3.1.1.2	Physikalische Anforderungen	152
3.1.1.3	Chemische Anforderungen	152

3.1.1.4	Mikrobiologische Anforderungen	153
3.1.1.5	Ästhetische Anforderungen	153
3.2	Der Rohstoff PET	154
3.2.1	Synthese von PET	154
3.2.2	Materialeigenschaften von PET	155
3.2.2.1	Die Viskosität des Materials	157
3.2.2.2	Der Comonomer-Anteil	157
3.2.2.3	Die Feuchtigkeit des PET	158
3.2.2.4	Thermische Eigenschaften	158
3.2.2.5	Acetaldehyd-Gehalt	160
3.3	Grundlagen der PET-Streckblastechnik	161
3.3.1	Allgemeines	162
3.3.2	Spritzgießen von PET (Preforms)	164
3.3.3	Grundlagen der Herstellung von PET-Flaschen	166
3.3.3.1	Aufheizprozess	167
3.3.3.2	Verstreckprozess	169
3.4	Zweistufen-Streckblastechnik	170
3.4.1	Prozessablauf beim zweistufigen Streckblasprozess	170
3.4.1.1	Aufheizprozess	172
3.4.2	Maschinentechnik für den zweistufigen Streckblasprozess	175
3.4.2.1	Linearmaschinen	177
3.4.2.2	Rundläufermaschinen	178
3.4.3	Peripherieaggregate für die Produktion	183
3.4.3.1	Kompressoren	183
3.4.3.2	Kühler	185
3.4.3.3	Inspektionssysteme	186
3.5	Einstufen-Streckblastechnik	189
3.5.1	Einsatzgebiete für Einstufenmaschinen	189
3.5.2	Verfahrensvarianten	189
3.5.2.1	Drei-Stationen-Prinzip	190
3.5.2.2	Vier-Stationen-Prinzip	190
3.5.2.3	Optimierte Nutzung der Ausstoßleistung von Spritzgieß- und Blaskavitäten	191
3.5.2.4	Stark ovale Behälter	193
3.5.3	Spritzgießen der Preforms	193
3.5.4	Der Wärmehaushalt im Preform	195
3.5.5	Handgriffe	196
3.6	Prozesstechnologie für den PET-Verpackungsmarkt	197
3.6.1	Der Relaxationsprozess	197
3.6.2	Der Prozess für heißabfüllbare PET-Flaschen	198
3.6.2.1	Pasteurisierbare PET-Flaschen	206
3.6.3	Herstellung ovaler und flachovaler PET-Flaschen	206
3.7	Barrieretechnologien für PET-Flaschen	209

4	Andere Blasformverfahren	215
4.1	„Reciprocating-Screw“-Maschinen	215
4.2	Spritzblasformen	215
4.2.1	Pressblower-Prozess	219
4.3	Tauchblasen	220
5	Produktentwicklung	223
5.1	Produkterprobung und Prüfung	224
5.2	Blasformgerechtes Konstruieren	225
5.3	CAE, Simulationsverfahren: Prozess- und Produkt-Simulation	229
5.4	Produktentwicklung beim Extrusionsblasformen	231
5.5	Machbarkeitsanalyse Sandkasten	233
5.6	Berechnung Berstinnendruck eines Scheibenwischwasserbehälters	234
5.7	Produktentwicklung beim Streckblasformen	237
5.7.1	Der passende Preform	237
5.7.2	Produktentwicklung PET-Flaschen	241
5.7.2.1	Der Entwicklungsprozess mit seinen Randbedingungen	241
5.7.2.2	Werkzeuge der Designentwicklung	249
5.7.2.3	Auslegung spezieller Flaschen	253
5.7.2.4	Herstellen von Musterflaschen	257
5.7.2.5	Testen der Musterflaschen	258
6	Der Blasformbetrieb	269
6.1	Der Extrusionsblasformbetrieb	269
6.1.1	Von der Idee zum Produkt	269
6.1.2	Umrüsten	275
6.1.3	Layout eines Blasformprozesses	279
6.2	Der PET-Blasformbetrieb	280
6.3	Qualitätsmanagement, Umweltmanagement und Arbeitsschutz	285
6.3.1	Qualität	285
6.3.2	Qualitätsmanagement	286
7	Recycling	291
7.1	Recycling in der Extrusionblasformtechnik	291
7.1.1	Mögliche Strategien der Verarbeitung von Mahlgut	292
7.1.2	Schichtaufbauten bei Blasformteilen mit Rezyklat	293
7.1.3	Recycling in der Sechs-Schicht-Coextrusion	295
7.1.4	Aufbereitung des Materials	296
7.1.5	Materialförderung, Dosierung und Plastifizierung	296
7.1.6	Massedurchsatz	298
7.1.7	Vermeiden von Fehlstellen	300
7.1.8	Schlauchkopf, Blasformwerkzeug und Blasformprozess	300
7.2	Recycling von PET	301

8	Anhang: Trouble-Shooting-Guide Extrusionsblasformen	309
8.1	Fehler am Vorformling	309
8.2	Fehler am Blasformteil	311
	Register	313