

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	V
<b>1 Einschneckenextruder</b> .....	1
<i>Prof. Dr.-Ing. Volker Schöppner</i>	
1.1 Allgemeines .....	3
1.2 Feststoffförderung .....	9
1.3 Aufschmelzen .....	15
1.4 Schmelzeförderung .....	17
1.5 Mischen .....	20
1.6 Entgasungsextruder .....	21
1.7 Betriebsverhalten .....	22
1.8 Bauarten von Extrudern und ihre Betriebskennlinien .....	22
1.8.1 Glattrohrextruder .....	23
1.8.2 Nutbuchsenextruder .....	24
1.8.2.1 Entgasungsextruder .....	26
1.8.3 Schmelzeextruder .....	27
1.8.3.1 Schnelllaufende Schmelzeextruder .....	28
1.9 Baureihen .....	29
1.10 Extrusionsmaschinenbau .....	33
1.10.1 Zylinderbaugruppe .....	33
1.10.2 Schnecke .....	34
1.10.3 Antriebsstrang .....	34
1.10.4 Gestell .....	35
1.10.5 Sensorik, Steuerung und Regelung .....	36
1.11 Extrusionssysteme .....	37
1.11.1 Zusammenschaltung mit Filtern und Pumpen .....	37
1.11.2 Coextruder in Mehrkomponentenanlagen .....	38
Literatur zu Kapitel 1 .....	39

<b>2 Mehrschneckenextruder</b> .....	41
2.1 Der gegenläufige Doppelschneckenextruder .....	41
<i>Dr.-Ing. Gordon Fattmann</i>	
2.1.1 Einleitung .....	41
2.1.2 Bauformen .....	42
2.1.3 Aufbau .....	43
2.1.3.1 Grundrahmen .....	44
2.1.3.2 Antrieb/Getriebe .....	44
2.1.3.3 Materialzuführung .....	45
2.1.3.4 Zylinder und Schneckenpaar .....	46
2.1.4 Verfahrenstechnik .....	48
2.1.4.1 Grundlagen der Schneckengestaltung .....	48
2.1.4.2 Funktionsweise von gegenläufigen Doppelschnecken ...	49
2.1.5 Die Verfahrenseinheit .....	52
2.1.5.1 Aufbau der Verfahrenseinheit .....	52
2.1.5.2 Aufgaben der Verfahrenszonen .....	52
2.1.5.3 Auslegung der Schnecken .....	59
2.1.5.4 Anpassen von Schneckengeometrien .....	64
2.1.6 Verschleiß .....	66
2.1.7 Entwicklungsgeschichte .....	67
Literatur zu Abschnitt 2.1 .....	69
2.2 Der gleichläufige Doppelschneckenextruder .....	70
<i>Dr.-Ing. Peter Heidemeyer</i>	
2.2.1 Einleitung .....	70
2.2.2 Historische Entwicklung der Gleichdrall-Doppelschnecken .....	71
2.2.3 Funktionsprinzip und beschreibende Kenngrößen .....	73
2.2.4 Auslegungsgrundlagen .....	77
2.2.4.1 Schneckenelemente .....	77
2.2.4.2 Verfahrenstechnische Auslegung .....	83
2.2.4.3 Vom Labor in die Produktion: Hochrechnung .....	92
2.2.5 Antriebstechnik .....	93
2.2.5.1 Hauptantrieb .....	93
2.2.5.2 Sicherheitskupplung .....	96
2.2.5.3 Getriebe .....	97
2.2.6 Verschleißschutz .....	97
2.2.7 Prozessbeispiele .....	101
2.2.7.1 Direktverarbeitung von ungetrocknetem PET .....	101
2.2.7.2 Herstellung von mit Glasfasern verstärktem Polyamid ..	102
2.2.7.3 Herstellung von mit Kreide oder Talkum hochgefüllten Polypropylen .....	102

2.2.74	Masterbatchherstellung aus der Vormischung .....	103
2.2.75	Herstellung eines Farbmasterbatches .....	104
2.2.76	Einarbeitung von Naturfasern in Polypropylen .....	105
2.2.77	Inline-Compoundierung von Platten .....	106
Literatur zu Abschnitt 2.2	.....	107
<b>3</b>	<b>Extrusionswerkzeuge</b> .....	109
3.1	Breitschlitzwerkzeuge .....	109
	<i>Dr.-Ing. Carl-Jürgen Wefelmeier</i>	
3.1.1	Einleitung .....	109
3.1.2	Grundsätzlicher Aufbau von Breitschlitzwerkzeugen .....	110
3.1.3	Beeinflussung des Schmelzefflusses in Breitschlitzwerkzeugen ..	113
3.1.3.1	Flexible Lippe bzw. Flexlip .....	113
3.1.3.2	Staubalken .....	115
3.1.4	Ausführung der Unterlippe .....	116
3.1.5	Deckling .....	118
3.1.5.1	Externes Deckling .....	118
3.1.5.2	Internes Deckling .....	120
3.1.6	Äußere Geometrie des Breitschlitzwerkzeugs .....	122
3.1.7	Heizung und Isolierung .....	123
3.1.8	Beschichtung und Oberflächenqualität .....	124
3.1.9	Einlaufkanalgeometrie .....	125
3.1.10	Coextrusionswerkzeuge .....	125
3.1.10.1	Adapterwerkzeuge .....	125
3.1.10.2	Mehrkanalwerkzeuge .....	130
Literatur zu Abschnitt 3.1	.....	131
3.2	Ringspaltwerkzeuge .....	131
	<i>Dr.-Ing. Stefan Seibel</i>	
3.2.1	Dornhalterwerkzeuge .....	133
3.2.2	Siebkorbwerkzeuge .....	134
3.2.3	Wendelverteilerwerkzeuge .....	135
3.2.4	Pinolenwerkzeuge .....	137
Literatur zu Abschnitt 3.2	.....	138
<b>4</b>	<b>Rohrextrusion</b> .....	141
	<i>Dr.-Ing. Henning Stieglitz</i>	
4.1	Einleitung .....	141
4.2	Materialien .....	144
4.2.1	Polyvinylchlorid (PVC) .....	144

4.2.2	Polyolefine .....	145
4.2.2.1	Polyethylen (PE) .....	145
4.2.2.2	Polypropylen (PP) .....	147
4.2.2.3	Vernetztes Polyethylen .....	147
4.2.2.4	Weitere Rohrwerkstoffe .....	148
4.3	Rohrtypen .....	148
4.3.1	Einschichtige Rohre .....	149
4.3.2	Mehrschichtige Rohre .....	149
4.3.3	Schaumkernrohre .....	150
4.3.4	Rohre mit Regeneratschicht .....	150
4.3.5	Rohre mit Funktionsschichten .....	150
4.3.6	Metall-Kunststoff-Verbundrohre .....	151
4.3.7	Faserverstärkte Rohre .....	151
4.3.8	Großrohre .....	152
4.3.9	Wellrohre .....	153
4.3.10	Wickelrohre .....	153
4.3.11	Ummantelte Stahlrohre .....	153
4.3.12	Bewässerungsrohre .....	154
4.4	Herstellverfahren .....	154
4.4.1	Materialbeschickung .....	155
4.4.1.1	Materialbeschickung für Einschneckenextruder .....	155
4.4.1.2	Materialbeschickung für Doppelschneckenextruder .....	156
4.4.2	Extruder .....	156
4.4.3	Werkzeug .....	157
4.4.4	Kalibrieren und Abkühlen .....	159
4.4.4.1	Vakuum-Tankkalibrierung .....	160
4.4.4.2	Überdruckkalibrierung .....	164
4.4.5	Kühlstrecke .....	164
4.4.6	Rohrinnenkühlung .....	166
4.4.7	Abzug .....	167
4.4.8	Trenneinheit .....	168
4.4.9	Ablegeeinheit .....	170
4.4.10	Mess-, Steuer-, Regeleinrichtungen .....	171
4.4.11	Dimensionswechselsysteme .....	175
4.4.12	Ausblick .....	177
	Literatur zu Kapitel 4 .....	177
<b>5</b>	<b>Profilextrusion</b> .....	<b>179</b>
	<i>Dr.-Ing. Stefan Seibel</i>	
5.1	Einleitung .....	179

5.2	PVC-U und Mischen von PVC-Rezepturen .....	185
5.2.1	PVC-U (unplastiziertes PVC oder Hart PVC) .....	185
5.2.2	Mischen von PVC-Rezepturen .....	186
5.3	Extruder .....	186
5.4	Werkzeuge für die Profilextrusion .....	190
5.4.1	Prinzipieller Aufbau .....	190
5.4.2	Bauarten von Profilwerkzeugen .....	192
5.4.3	Anforderungen an den Werkzeughersteller und Stand der Technik .....	194
5.4.4	Schnellwechselsystem .....	196
5.4.5	Kundenspezifische Lösungen .....	197
5.4.6	Werkzeugauslegung und Wissenschaft im Werkzeugbau .....	198
5.4.7	Anforderungen an Berechnungswerkzeuge im Alltag .....	199
5.5	Kalibrierwerkzeug .....	199
5.6	Kühlung .....	200
5.6.1	Optimierung von Kühlparametern in der Profilextrusion .....	201
5.6.2	Kühlleistung .....	205
5.7	Sonstiges .....	206
5.7.1	Nachfolge, Steuerung .....	206
5.7.2	Oberflächenkontrolle in der Profilextrusion .....	207
5.7.3	Geräuschemission .....	208
5.8	Marktentwicklung .....	208
	Literatur zu Kapitel 5 .....	209
<b>6</b>	<b>Flachfolien- und Plattenextrusion</b> .....	<b>211</b>
	<i>Dr.-Ing. Carl-Jürgen Wefelmeier</i>	
6.1	Einleitung .....	211
6.2	Anlagentechnik .....	212
6.2.1	Maschinentechnik zur Herstellung von Flachfolien .....	212
6.2.1.1	Beispiel einer Extrusionslinie zur Herstellung geglätteter Flachfolien .....	213
6.2.1.2	Beispiele für Extrusionslinien zur Herstellung von Platten .....	221
6.3	Anlagenkomponenten für Folien- und Plattenanlagen .....	234
6.3.1	Siebwechsler .....	235
6.3.2	Schmelzpumpen .....	240
6.3.2.1	Aufbau von Schmelzpumpen .....	240
6.3.2.2	Funktionsweise und Ausführungen von Schmelzpumpen .....	241

6.3.2.3	Prozesseigenschaften von Schmelzepumpen .....	243
6.3.3	Walzen .....	244
6.3.4	Wickler .....	248
6.4	Verfahrenstechnik in Folien- und Plattenextrusionslinien .....	251
6.4.1	Verfahrenstechnik – Peripherie .....	252
6.4.2	Verfahrenstechnik – Extrusion .....	253
6.4.3	Verfahrenstechnik – Nachfolge .....	258
6.4.3.1	Verfahrenstechnik – Glättwerk und Nachkühlstrecke ...	258
6.4.3.2	Simulation des Temperaturverlaufs .....	262
6.4.3.3	Verfahrenstechnik – Schneiden und Wickeln bzw. Stapeln .....	267
	Literatur zu Kapitel 6 .....	269
<b>7</b>	<b>Gießfolienextrusion</b> .....	<b>271</b>
	<i>Dr.-Ing. Torsten Schmitz</i>	
7.1	Einleitung .....	271
7.2	Anlagen- und Verfahrenstechnik zur Herstellung von Gießfolien .....	271
7.2.1	Materialzuführung und Dosierung .....	272
7.2.2	Extrudertechnik und Schneckenauslegung .....	273
7.2.3	Coextrusionsadapter, Foliendüse und Schmelzebahn .....	273
7.2.4	Gießwalzeneinheit .....	275
7.2.5	Peripherie, Materialrückführung und Wicklung .....	276
7.2.6	Anlagensteuerung und Automation .....	276
7.3	Eigenschaften, Anwendungen und Einsatzgebiete von Gießfolien .....	277
7.3.1	Polypropylen-Gießfolie .....	277
7.3.2	Stretchfolie .....	277
7.3.3	Barrierefolie .....	278
	Literatur zu Kapitel 7 .....	278
<b>8</b>	<b>Blasfolienextrusion</b> .....	<b>283</b>
	<i>Martin Backmann, Dr.-Ing. Ingo Rübhelke</i>	
8.1	Einleitung .....	283
8.2	Granulatversorgung .....	285
8.3	Extruder für die Blasfolienextrusion .....	287
8.4	Werkzeugtechnik zur Blasfolienherstellung .....	289
8.4.1	Werkzeugkonzepte zur Herstellung von Mehrschichtfolien .....	294
8.4.2	Aufbau- und Funktionsmerkmale einer mehrschichtigen Blasfolie .....	296

8.5	Abkühl- und Kalibriereinheit .....	301
8.6	Nachfolge .....	305
8.6.1	Dickenmesssysteme .....	305
8.6.2	Reversierende Abzugseinheit .....	306
8.6.3	Vorbehandlung .....	308
8.6.4	Wickler .....	309
8.7	Mess- und Regelkonzepte für die Blasfolienextrusion .....	312
	Literatur zu Kapitel 8 .....	314
<b>9</b>	<b>Berechnung von Extrusionswerkzeugen</b> .....	<b>317</b>
	<i>Dipl.-Wirtsch.-Ing. Bianka Henke, Prof. Dr.-Ing. Andreas Limper,</i>	
	<i>Prof. Dr.-Ing. Volker Schöppner</i>	
9.1	Einführung .....	317
9.1.1	Zielgrößen .....	318
9.1.2	Einflussgrößen .....	319
9.2	Analytische Berechnungsmethoden .....	319
9.2.1	Berechnung der Temperaturerhöhung in der Schmelze .....	320
9.2.2	Berechnung der Temperierleistung .....	321
9.2.3	Berechnung des Druckverlustes von einfachen Querschnitten ...	321
9.2.4	Berechnung der Schmelzeverteilung am Beispiel Breitschlitzdüse .....	326
9.3	Einfache numerische Berechnungsmethoden .....	332
9.3.1	Netzwerktheorie .....	333
9.3.2	Berechnung von Kleiderbügeldüsen .....	335
9.3.3	Nicht-Newton'sches Fließen, repräsentative Schergeschwindigkeit	340
9.3.4	Fazit .....	343
9.4	Ganzheitliche numerische Berechnungsmethoden .....	343
9.4.1	CFD (Computational Fluid Dynamics) .....	344
9.4.2	Materialgesetze .....	347
9.4.3	Fazit .....	349
9.5	Strangaufweitung .....	349
9.6	Ausblick: Aktuelle Forschungsthemen .....	351
	Literatur zu Kapitel 9 .....	352
<b>10</b>	<b>Thermische Berechnungen</b> .....	<b>353</b>
	<i>Prof. Dr.-Ing. Volker Schöppner</i>	
10.1	Bestimmung des Temperaturverlaufs .....	353
10.2	Bestimmung der Wärmeübergangskoeffizienten .....	360
10.2.1	Konvektive Kühlung an der Luft .....	360

10.2.2 Konvektive Kühlung in Wasser .....	362
10.2.3 Kontaktkühlung an Kühlwalzen und Galetten .....	364
10.2.4 Strahlungserwärmung .....	367
10.3 Modelltheoretische Umsetzung .....	367
10.4 Abkühlung von Profilen .....	370
Literatur zu Kapitel 10 .....	371
<b>11 Dosiergeräte für Extrusionsanlagen</b> .....	<b>373</b>
<i>Thomas Kaupel</i>	
11.1 Einleitung .....	373
11.2 Allgemeine Betrachtung zu Dosiergeräten .....	374
11.2.1 Vorteile der Materialaufbereitung mit Dosier- und Mischgeräten	374
11.2.2 Dosieraufgabe, prinzipieller Aufbau von Dosiergeräten, Dosierorgane .....	375
11.2.3 Prinzipieller Aufbau einer Dosieranlage .....	376
11.3 Volumetrische Dosiergeräte .....	378
11.3.1 Verfahrenstechnische Grundlagen .....	378
11.3.2 Beispiele volumetrischer Dosiergeräte .....	382
11.3.2.1 Geräte mit digital-volumetrischer Arbeitsweise .....	382
11.3.2.2 Gerätevariante mit Dosierung aller Komponenten .....	382
11.3.2.3 Synchrondosiergeräte .....	384
11.3.2.4 Volumetrisches Synchrondosiergerät mit Dosierung aller Komponenten .....	385
11.3.2.5 Volumetrisches Synchrondosiergerät mit freiem Einlauf der Hauptkomponente .....	386
11.4 Gravimetrische Dosiergeräte .....	388
11.4.1 Diskontinuierliche Wägedosierung .....	388
11.4.1.1 Prinzipieller Aufbau eines gravimetrischen Chargendosiersystems .....	389
11.4.1.2 Beschreibung des Dosierverfahrens und der Korrekturmechanismen am Beispiel des gravimetrischen Chargendosiergerätes vom Typ Ultrablend .....	390
11.4.2 Kontinuierliche gravimetrische Dosierung .....	391
11.4.2.1 Die Differentialdosierwaage .....	391
11.4.2.2 Die Trichterwaage .....	396
11.5 Zusammenfassung der Eigenschaften volumetrischer und gravimetrischer Dosiersysteme .....	399
Literatur zu Kapitel 11 .....	401
<b>Index</b> .....	<b>403</b>