

Inhalt

Vorwort	V
1 Einschneckenextruder	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

2 Mehrschneckenextruder	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

2.2.7.4	Masterbatchherstellung aus der Vormischung	103
2.2.7.5	Herstellung eines Farbmasterbatches	104
2.2.7.6	Einarbeitung von Naturfasern in Polypropylen	105
2.2.7.7	Inline- Compoundierung von Platten	106
Literatur zu Abschnitt 2.2		107
3	Extrusionswerkzeuge	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 Schmelzeflusses 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
4	Rohrextrusion	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
5	Profilextrusion	179
	<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
6	Flachfolien- und Plattenextrusion	211
	<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	Schmelzepumpen	240
6.3.2.1	Aufbau von Schmelzepumpen	240
6.3.2.2	Funktionsweise und Ausführungen von Schmelzepumpen	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
7 Gießfolienextrusion	271
<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
8 Blasfolienextrusion	283
<i>Martin Backmann, Dr.-Ing. Ingo Rübelke</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
9 Berechnung von Extrusionswerkzeugen	317
<i>Dipl.-Wirtsch.-Ing. Bianka Henke, Prof. Dr.-Ing. Andreas Limper, 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 Strangauflistung	349
9.6 Ausblick: Aktuelle Forschungsthemen	351
Literatur zu Kapitel 9	352
10 Thermische Berechnungen	353
<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
11 Dosiergeräte für Extrusionsanlagen	373
<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
Index	403