

# Inhalt

<b>Vorwort zur 2. Auflage</b> .....	<b>V</b>
Vorwort zur 1. Auflage .....	VI
<b>Zusatzmaterial</b> .....	<b>VIII</b>
<b>Die Autoren</b> .....	<b>IX</b>
Der Herausgeber .....	IX
Die Mitverfasser .....	X
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Technisch, wirtschaftliche Bedeutung der Extruder .....	1
1.1.1 Extrudertypen und Bezeichnungen .....	1
1.1.2 Schneckenmaschinen und Kunststoffe .....	2
1.1.3 Wirtschaftliche Kernfunktionen eines Extruders in der Kunststoffindustrie .....	3
1.1.4 Extrudertypen und Vorteile von dicht kämmenden Gleichdrallschnecken .....	5
1.1.5 Erste dicht kämmende Gleichdrallschnecken .....	6
1.1.6 Details zu Doppelschnecken .....	9
1.1.7 Zielsetzung des Buches .....	10
1.1.8 Zusammenfassung .....	11
1.1.9 Ausblick .....	11
1.2 Historische Entwicklung der Gleichdrall-Doppelschnecken .....	12
1.2.1 Vorwort und Würdigung von Bayer-Forschern .....	12
1.2.2 Einleitung von Martin Ullrich .....	18
1.2.3 Frühe Entwicklungen .....	18
1.2.3.1 Basisgeometrie .....	20
1.2.3.2 Grundlegende Patente .....	23
1.2.3.3 Pionierzeit .....	31
1.2.3.4 Maschinenentwicklung .....	31

1.2.3.5	Einsatz in Chemieprozessen .....	32
1.2.3.6	Lizenzvergabe .....	33
1.2.3.7	Würdigung für R. Erdmenger .....	33
1.2.3.8	Neue Hochviskostechnik mit Gleichdrallschnecken .....	34
1.2.3.9	Vielfältige Hochviskosprozesse .....	37
1.2.4	Spezielle Entwicklungen der Bayer-Hochviskostechnik .....	38
1.2.4.1	Vertiefte Kinematik, Profilgeometrien .....	38
1.2.4.2	Spielstrategien .....	40
1.2.4.3	Entwicklungen nach der Lizenzierung .....	42
1.2.4.4	Aktivitäten nach Ablauf der Hauptpatente .....	44
1.3	Compoundieren Gesamtübersicht: Aufgaben und Anwendungsbeispiele, Verfahrenszonen .....	47
1.3.1	Aufgaben und Anforderungen an die Compoundierung .....	47
1.3.2	Aufgaben und Auslegung der Verfahrenszonen eines Compoundierextruders .....	50
1.3.2.1	Einzugszone .....	51
1.3.2.2	Plastifizierzone .....	53
1.3.2.3	Schmelzeförderzone .....	58
1.3.2.4	Distributive Mischzone .....	59
1.3.2.5	Dispersive Mischzone .....	61
1.3.2.6	Entgasungszone .....	63
1.3.2.7	Druckaufbauzone .....	64
1.3.3	Verfahrenstechnische Kenngrößen .....	67
1.3.3.1	Spezifischer Energieeintrag .....	67
1.3.3.2	Verweilzeitverhalten .....	69
1.3.4	Verfahrensbeispiele .....	71
1.3.4.1	Einarbeitung von Glasfasern .....	71
1.3.4.2	Einarbeiten von Füllstoffen .....	74
1.3.4.3	Herstellung von Masterbatches .....	76
1.3.4.4	Einfärben .....	79
1.4	Prozessverständnis – Übersicht und Bewertung von Experimenten und Modellen .....	82
1.4.1	Einleitung .....	82
1.4.2	Einteilung von Modellen und Experimenten .....	86
1.4.3	Feststoffe .....	87
1.4.4	Hochviskose Flüssigkeiten .....	89
1.4.4.1	Eindimensionale Modelle .....	89
1.4.4.2	Dreidimensionale Modelle .....	94
1.4.5	Zusammenfassung .....	96
1.4.6	Ausblick und Anregungen .....	97
1.4.6.1	Extruderkonfigurationsprogramm .....	97

1.4.6.2	Modellweiterentwicklungen .....	97
1.4.6.3	Neue Modellanwendungen – online .....	98
1.4.6.4	Verfahrenstechnische Charakterisierung von Schneckenelementen durch Kennzahlen .....	99
1.5	Förder- und Leistungsparameter von üblichen Fördererelementen .....	101
1.6	Häufig verwendete Formelzeichen .....	103
<b>2</b>	<b>Basisgeometrien und Schneckenelemente .....</b>	<b>107</b>
2.1	Basisgeometrie der Gleichläufer: Förder- und Kneteelemente einschließlich Spielstrategien .....	107
2.1.1	Einleitung .....	107
2.1.2	Das exakt abschabende Profil aus Kreisbögen .....	108
2.1.3	Geometrische Konstruktion von dicht kämmenden Profilen .....	110
2.1.4	Geometrie Größen von Gewindeelementen mit Spielen .....	112
2.1.5	Übergang zwischen verschiedenen Gangzahlen .....	117
2.1.6	Berechnung eines Schneckenprofils zur Fertigung nach der Längsschnitt-Äquidistante .....	117
2.1.7	Freie Querschnittsfläche .....	121
2.1.8	Oberfläche von Gehäuse und Fördererelementen .....	122
2.1.9	Kneteelemente .....	123
2.1.10	Neue Entwicklungen bei Schneckengeometrien .....	126
2.2	Schneckenelemente und deren Einsatz .....	127
2.2.1	Aufbau von Schneckenelementen .....	128
2.2.2	Kombinieren von Schneckenelementen .....	133
2.2.3	Schneckenelemente und ihre Wirkungsweise .....	136
2.2.3.1	Fördererelemente .....	136
2.2.3.2	Kneteelemente .....	142
2.2.3.3	Abstauerelemente .....	146
2.2.3.4	Mischelemente .....	148
2.2.3.5	Sonderelemente .....	152
2.3	Übersicht patentierter Schneckenelemente .....	160
2.3.1	WO 2009152910, EP 2291277, US 20110110183 .....	162
2.3.2	WO 2011039016, EP 2483051, US 20120320702 .....	163
2.3.3	WO 2011069896, EP 2509765, US 20120281001 .....	164
2.3.4	DE 00813154, US 2670188 .....	165
2.3.5	DE 19947967, EP 1121238, WO 2000020188 .....	166
2.3.6	US 1868671 .....	167
2.3.7	DE 10207145, EP 1476290, US 20050152214 .....	167
2.3.8	DE 00940109, US 2814472 .....	168
2.3.9	US 5713209 .....	168

2.3.10	US 3717330, DE 2128468	169
2.3.11	DE 4118530, EP 516936, US 5338112	170
2.3.12	US 4131371	171
2.3.13	DE 03412258, US 4824256	171
2.3.14	DE 1180718, US 3254367	172
2.3.15	US 3900187	173
2.3.16	WO 2009153003, EP 2303544, US 20110112255	174
2.3.17	WO 2009152974, EP 2291279, US 20110180949	175
2.3.18	US 3216706	176
2.3.19	WO 2009152968, EP 2303531, US 20110158039	177
2.3.20	WO 2013045623, EP 2760658	178
2.3.21	WO 2009152973, EP 2291270, US 20110141843	179
2.3.22	WO 2009153002, EP 2307182, US 20110096617	180
2.3.23	EP 0002131, JP 54072265, US 4300839	181
2.3.24	DE 19718292, EP 0875356, US 6048088	182
2.3.25	DE 04239220	182
2.3.26	DE 01529919, US 3288077	183
2.3.27	EP 0330308, US 5048971	184
2.3.28	DE 10114727, US 6974243, WO 2002076707	185
2.3.29	US 6783270, WO 2002009919	186
2.3.30	WO 2013128463, EP 2747980, US 20140036614	187
2.3.31	JP 2008183721, DE 102007055764, US 2008181051	188
2.3.32	DE 4329612, EP 641640, US 5573332	189
2.3.33	DE 19860256, EP 1013402, US 6179460	190
2.3.34	DE 04134026, EP 0537450, US 5318358	190
2.3.35	DE 19706134	191
2.3.36	JP 2013028055	192
2.3.37	WO 1998013189 , US 6022133, EP 934151	192
2.3.38	WO 1999025537, EP 1032492	193
2.3.39	US 6116770, EP 1035960, WO 2000020189	193
2.3.40	DE 29901899 U1	194
2.3.41	US 6170975, WO 2000047393	194
2.3.42	DE 10150006 , EP 1434679, US 7080935	195
2.3.43	DE 4202821, US 5267788, WO 1993014921	195
2.3.44	DE 03014643, EP 0037984, US 4352568	196
2.3.45	DE 02611908, US 4162854	197
2.3.46	WO 1995033608, US 5487602, EP 764074	198
2.3.47	DE 102004010553	199
2.3.48	DE 04115591, EP 0513431	200
2.3.49	WO 2011073181, EP 2512776, US 20120245909	201

<b>3</b>	<b>Stoffeigenschaften von Polymeren</b>	<b>203</b>
3.1	Rheologische Eigenschaften von Polymerschmelzen	203
3.1.1	Einführung und Motivation	203
3.1.2	Einteilung des rheologischen Verhaltens von Festkörpern und Fluiden	204
3.1.3	Vergleich zwischen rein viskosem und viskoelastischem Fluid	210
3.1.3.1	Viskoses Fluid	210
3.1.3.2	Viskoelastisches Fluid	211
3.1.4	Temperaturabhängigkeit der Scherviskosität	215
3.1.4.1	Temperaturabhängigkeit für teilkristalline Polymere	216
3.1.4.2	Temperaturabhängigkeit für amorphe Polymere	217
3.1.5	Einfluss molekularer Parameter auf rheologische Eigenschaften von Polymerschmelzen	219
3.1.6	Scherströmungen: Schleppströmungen und druckgetriebene Strömungen	221
3.1.6.1	Fließprofile der druckgetriebenen Rohrströmung	222
3.1.6.2	Fließprofile der einfachen Schleppströmung	223
3.1.7	Dehnströmungen	224
3.2	Materialverhalten von Mischungen – Berücksichtigung von Polymer-Polymer und Feststoff-Polymer Systemen	227
3.2.1	Materialeigenschaften von Zweistoffsystemen	229
3.2.1.1	Einführung Mischsysteme	229
3.2.1.2	Thermodynamische Materialdaten von Zweistoffgemischen	229
3.2.1.3	Viskositäten von Zweistoffgemischen	231
3.2.1.4	Mischbare Polymerblends	233
3.2.1.5	Unmischbare (unverträgliche) Polymerblends	233
3.2.2	Prozessverhalten beim Plastifizieren von Zweistoffsystemen	236
3.2.3	Abschlussbemerkungen zum Einsatz in der Praxis	242
3.2.4	Zusammenfassung	243
3.3	Diffusiver Stofftransport in Polymeren	245
3.3.1	Stofftransportmechanismen	245
3.3.1.1	Konzentrationsverlauf in der Nähe der Phasengrenzfläche	246
3.3.2	Einflussgrößen des Stoffsystems	267
3.4	Minimierung der Produktschädigung bei der Verarbeitung von Polymeren	272
3.4.1	Einleitung	272
3.4.2	Übersicht chemischer Reaktionen	273
3.4.2.1	Schädigung durch thermischen Abbau	274
3.4.2.2	Schädigung durch oxidativen Abbau	276

3.4.2.3	Schädigung über chemischen Abbau durch Restfeuchte .	279
3.4.2.4	Schädigung durch mechanischen Abbau . . . . .	279
3.4.2.5	Einfluss von Metallen . . . . .	280
3.4.3	Zusammenhang zwischen Produktschädigung und Eigenschaften . . . . .	280
3.4.4	Reduktion von Polymerschädigung bei der Verarbeitung . . . . .	283
3.4.4.1	Maschinelle und prozesstechnische Maßnahmen . . . . .	283
3.4.4.2	Änderung der Schmelzeviskosität durch Molekulargewicht und Fließmodifikatoren . . . . .	284
3.4.4.3	Minimierung von Reaktionspartnern . . . . .	285
3.4.4.4	Additive zur Reduktion von Polymerschädigung . . . . .	285
3.4.5	Zusammenfassung . . . . .	287
3.5	Berechnungsgrundlagen für die Strömung in keilförmigen Scherspalt und Fließeigenschaften von gefüllten Polymerschmelzen	289
3.5.1	Berücksichtigung des strukturviskosen Fließverhaltens der Kunststoffschmelzen in der Keilspaltströmung und Kennzahlen zur Beurteilung der Dispergierung . . . . .	289
3.5.1.1	Einleitung – Deformation von Kunststoffschmelzen, Scherung und Verstreckung in der Keilspaltströmung . .	289
3.5.1.2	Grundlagen der Berechnung der Keilspaltströmung für hochviskose Medien . . . . .	293
3.5.1.3	Kunststoffschmelzen mit unterschiedlichem strukturviskosem Fließverhalten . . . . .	296
3.5.1.4	Simulationsergebnisse . . . . .	298
3.5.2	Modellierung des Fließverhaltens hochgefüllter Kunststoffe . . . .	309
<b>4</b>	<b>Förderverhalten, Druck- und Leistungsverhalten . . . . .</b>	<b>317</b>
4.1	Einführung des Förder- und Druckverhaltens hochviskoser Flüssigkeiten in Extrudern . . . . .	317
4.1.1	Durchsatz- und Druckverhalten, dimensionslose Kennzahlen . . .	317
4.1.1.1	Schergeschwindigkeit und Viskosität . . . . .	317
4.1.1.2	Einfache qualitative Betrachtungen an einfacher ebener Strömung . . . . .	319
4.1.1.3	Extruderkennzahlen und Druckgrundgleichung für Extruder . . . . .	327
4.2	Einführung des Leistungsverhaltens hochviskoser Flüssigkeiten in Extrudern . . . . .	347
4.2.1	Durchsatz-Leistungs-Verhalten der ebenen Strömung zwischen zwei Platten . . . . .	347
4.2.2	Leistungskennzahl für einen Ringspalt . . . . .	348
4.2.3	Grundgleichung der Leistungscharakteristik von Extrudern . . . .	350

4.3	Dissipation, Pumpwirkungsgrad Temperaturerhöhung und Wärmeübergang .....	353
4.3.1	Dissipation .....	353
4.3.2	Pumpwirkungsgrad .....	354
4.3.3	Temperaturerhöhung .....	357
4.3.4	Wärmeübergang .....	365
4.4	Ausblick zu den Abschnitten 4.1, 4.2 und 4.3 .....	367
4.5	Förderverhalten, Druckverhalten und Leistungseintrag in der Schmelze .....	369
4.5.1	Dimensionslose Kennzahlen .....	369
4.5.2	Teilgefüllte und gefüllte Schneckenabschnitte .....	377
4.5.3	Förderparameter für Schneckenelemente und übliche Förderkennzahlen .....	381
4.5.4	Förderverhalten bei Strukturviskosität .....	384
4.6	Aufgaben zum Leistungseintrag und Rückstaulänge .....	391
4.6.1	Aufgabe: Einfluss der Gangsteigung .....	391
4.6.2	Aufgabe: Teilfüllung .....	393
4.6.3	Aufgabe: Auslegung einer Druckaufbauzone mit einheitlicher Steigung sowie voll- und teilgefüllt Bereichen .....	394
4.6.4	Aufgabe: Auslegung der Druckaufbauzone mit verschiedenen Elementen mit 40 mm und 60 mm Steigung kombiniert .....	398
4.6.5	Aufgabe: Einfluss von nicht-newtonschen Effekten .....	399
4.7	Strömungssimulation .....	401
4.7.1	Einleitung zur Strömungssimulation .....	401
4.7.2	Gefüllte Schneckenabschnitte .....	405
4.7.2.1	Beispiel 1 .....	405
4.7.2.2	Beispiel 2 .....	423
4.7.2.3	Zusammenfassung und Ausblick .....	426
4.7.3	Teilgefüllte Schneckenabschnitte .....	430
<b>5</b>	<b>Funktionszonen im Extruder .....</b>	<b>437</b>
5.1	Feststofftransport in den und im Extruder, Einzugsgrenzen .....	437
5.1.1	Kenngrößen und Berechnungsmöglichkeiten .....	438
5.1.2	Einzugsbegrenzungen .....	445
5.1.2.1	Granulate .....	445
5.1.2.2	Pulver .....	445
5.1.2.3	Flakes .....	448
5.1.2.4	Niedrig schmelzende Komponenten .....	448
5.2	Aufschmelzen von Thermoplasten .....	449
5.2.1	Aufgaben der Aufschmelzzone .....	449

5.2.2	Schneckenelemente und Schneckenkonfiguration .....	451
5.2.3	Messmethoden .....	452
5.2.4	Wesentliche Schritte des Aufschmelzens .....	454
5.2.5	Rechenmodelle .....	456
5.3	Mischen und Dispergieren .....	461
5.3.1	Übersicht, Grundlagen und Experimente .....	461
5.3.1.1	Distributives Mischen – Mischen in laminarer Strömung	462
5.3.1.2	Dispersives Mischen .....	469
5.3.1.3	Bestimmung der Mischgüte .....	478
5.3.1.4	Formelzeichen zu Abschnitt 5.3.1 .....	483
5.3.2	Dreidimensionale Berechnungen des Misch- und Verweilzeitverhaltens .....	485
5.3.2.1	Zusammenfassung .....	494
5.4	Entgasen von Polymerschmelzen .....	494
5.4.1	Phasengrenzflächen und Oberflächenerneuerung .....	495
5.4.1.1	Flüssigkeitsverteilung und Füllgrad .....	495
5.4.1.2	Entgasungszeiten .....	510
5.4.2	Konzentrationsänderung in der Entgasungszone .....	518
5.4.2.1	Kennzahlen .....	518
5.4.2.2	Blasenfreie Flüssigkeiten .....	519
5.4.2.3	Einfluss der Oberflächenvergrößerung durch Blasen ....	524
5.4.3	Auslegen von Entgasungszonen .....	525
5.4.4	Numerische Simulation der Filmentgasung .....	528
<b>6</b>	<b>Scale-up und Scale-down .....</b>	<b>535</b>
6.1	Einführung und Basis-Regeln für thermisch empfindliche Produkte ...	535
6.1.1	Unähnlichkeit .....	536
6.1.2	Vergleich von Produktionsmaschinen .....	536
6.1.3	Scale-down und Wege der Auslegung .....	537
6.1.3.1	Produkttemperatur .....	539
6.1.4	Zusammenfassung/Ausblick .....	553
6.2	Scale-up und Scale-down mit Exponentenansätzen .....	555
6.2.1	Grundlegende Problemstellung .....	555
6.2.2	Einfacher Skalierungsansatz .....	556
6.2.3	Modellbasierter Skalierungsansatz .....	557
6.2.3.1	Modelltheorie .....	558
6.2.3.2	Modellexponenten .....	568
6.2.3.3	Wärmeströme über den Zylinder .....	572
6.2.4	Experimentelle Ergebnisse .....	574



6.3	Scale-up und Scale-down mit Kennzahlen .....	576
6.3.1	Kennzahlen der ganzen Maschine .....	577
6.3.1.1	Dimensionsloser Durchsatz .....	577
6.3.1.2	Spezifischer Energieeintrag .....	578
6.3.2	Geometrische Maßstabsübertragung .....	579
6.3.2.1	Geometrisch ähnliche Maschinen .....	579
6.3.2.2	Drehzahl und Drehmoment .....	579
6.3.2.3	Übertragung bei unterschiedlichen Geometrien .....	580
6.3.2.4	Dimensionsanalyse für reales Produktverhalten .....	585
6.3.2.5	Einfaches Beispiel für ein volumetrisches Scale-up .....	587
<b>7</b>	<b>Maschinentechnik .....</b>	<b>591</b>
7.1	ZSK Baureihen und Anwendungen .....	591
7.1.1	Entwicklung zu hohen Drehmomenten, Volumina und Drehzahlen .....	591
7.1.2	Drehmoment- und volumenbegrenzte Durchsätze .....	595
7.1.3	Anwendungsbeispiele für die Kunststoffindustrie .....	597
7.1.3.1	Hohes Drehmoment zur Glasfaserverstärkung von Kunststoffen .....	597
7.1.3.2	Hohes Drehmoment zur Folienextrusion von ungetrocknetem PET oder PLA .....	600
7.1.3.3	Hohes Drehmoment bei bisher volumenbegrenzten Anwendungen .....	600
7.1.3.4	Verarbeitung von temperatur- und scherempfindlichen Produkten .....	602
7.1.4	Anwendungsbeispiele für die Chemieindustrie .....	605
7.1.4.1	Kleb- und Dichtstoffe .....	605
7.1.4.2	Chemische Reaktionen in Doppelschneckenextrudern ..	608
7.2	Gehäuseeinheiten .....	610
7.2.1	Einleitung .....	610
7.2.2	Bauarten .....	611
7.2.2.1	Zugankerversion für ZSK 18 - 54 .....	611
7.2.2.2	Flanschversion für ZSK 58 - 320 .....	612
7.2.2.3	Klammerversion für ZSK 350 - 420 .....	612
7.2.3	Varianten .....	613
7.2.3.1	Geschlossenes Schneckengehäuse .....	613
7.2.3.2	Geschlossenes Schneckengehäuse mit Bohrung .....	614
7.2.3.3	Offenes Schneckengehäuse .....	614
7.2.3.4	Kombi-Schneckengehäuse .....	615
7.2.3.5	Sonderformen .....	615

7.2.4	Verschleiß- bzw. Korrosionsschutz .....	615
7.2.4.1	Massivgehäuse: Nitriert oder durchhart .....	616
7.2.4.2	Gehäuse mit Liner (Ovalbuchse) .....	616
7.2.4.3	Direkt beschichtete Schneckengehäuse .....	617
7.2.5	Beheizung von Schneckengehäusen .....	617
7.2.5.1	Heizpatronen .....	617
7.2.5.2	Heizschalen, Heizplatten .....	618
7.2.6	Kühlung und Temperierung .....	618
7.2.6.1	Ein Kreislauf .....	618
7.2.6.2	Zwei Kreisläufe .....	619
7.3	Erhöhung der Verfügbarkeit des Doppelschneckenextruders durch gezielte Werkstoffwahl für produktberührende Bauteile .....	619
7.3.1	Einleitung .....	619
7.3.2	Verschleißphänomene an Doppelschneckenextrudern in der Praxis .....	620
7.3.2.1	Abrasiver Verschleiß .....	621
7.3.2.2	Adhäsiver Verschleiß .....	624
7.3.2.3	Korrosion .....	627
7.3.3	Messen und Bewertung von Verschleißkenngrößen .....	629
7.3.3.1	Messung der abrasiven Verschleißbeständigkeit .....	629
7.3.3.2	Messung des adhäsiven Verschleißes .....	630
7.3.3.3	Korrosionsmessung .....	631
7.3.4	Ausführungsformen und Werkstoffausführungen für Extrudergehäuse und Schneckenelemente .....	632
7.3.4.1	Ausführungsformen der Gehäuse .....	632
7.3.4.2	Ausführungsformen von Schneckenelementen .....	634
7.3.4.3	Werkstoffausführung von Extrudergehäuse und Liner ..	638
7.3.4.4	Werkstoffausführung von Schneckensatzelementen ....	641
7.3.5	Ausblick .....	644
7.4	Dynamische Strukturanalysen an Doppelschneckenextrudern und einwelligen Austragsextrudern .....	644
7.4.1	Aufbau des Strukturmodells .....	645
7.4.2	Schwingungsanalyse an einem ZSK .....	646
7.4.3	Optimierung einwelliger Extruder .....	652
7.4.4	Strukturschwingstechnische Auslegung .....	656
7.4.5	Zusammenfassung/Ausblick .....	661
7.5	Messtechnik und prozessintegrierte Qualitätssicherung .....	662
7.5.1	Messtechnische Grundlagen .....	663
7.5.2	Druck- und Temperaturmesstechnik .....	664
7.5.2.1	Temperatur .....	664
7.5.2.2	Druckmesstechnik .....	666

7.5.3	Rheologische Messtechnik .....	669
7.5.3.1	Laborrheometer .....	669
7.5.3.2	Prozessrheometer .....	671
7.5.4	Farbmessung .....	672
7.5.5	Sondersysteme .....	672
7.5.5.1	Ultraschallmesstechnik .....	673
7.5.5.2	Modellprädiktive Regelung und virtuelle Sensoren .....	673
<b>8</b>	<b>Anwendungen der gleichläufigen Doppelwellenschnecke .....</b>	<b>675</b>
8.1	Compoundieren in der Praxis .....	675
8.1.1	Durchsatzbegrenzung .....	675
8.1.1.1	Drehmomentbegrenzung .....	676
8.1.1.2	Volumenbegrenzung .....	676
8.1.1.3	Weitere Begrenzungen .....	676
8.1.1.4	Begrenzung durch Peripherie .....	677
8.1.2	Vormischung .....	678
8.1.3	Schmelzeentgasung .....	679
8.1.3.1	Einflussfaktoren .....	679
8.1.3.2	Technische Ausführung .....	680
8.1.4	Strangspritzkopf .....	682
8.1.5	Prozesskontrolle .....	683
8.1.5.1	Prozessüberwachung .....	684
8.1.5.2	Beispiel: Vorsicht, Falle! .....	684
8.1.6	Extruderschnecken .....	685
8.1.6.1	Schneckenauslegung .....	685
8.1.6.2	Verschleiß .....	686
8.1.7	Scale-up .....	686
8.1.7.1	Der Idealfall .....	686
8.1.7.2	Die Realität .....	687
8.1.7.3	Besonderheiten bei Neuentwicklungen .....	688
8.1.7.4	Fazit .....	688
8.1.8	Simulation .....	689
8.2	Farbmasterbatche .....	689
8.2.1	Grundsätzliche Verfahrensidee .....	690
8.2.2	Materialien .....	692
8.2.2.1	Pigmente .....	693
8.2.2.2	Auswahl des Polymers .....	701
8.2.2.3	Additive und Dispergierhilfsmittel .....	701
8.2.3	Mischen .....	702
8.2.3.1	Schwerkraftmischer .....	703

8.2.3.2	Langsam laufender stationärer oder mobiler (Container) Mischer	703
8.2.3.3	Schnell laufender stationärer oder mobiler (Container) Mischer	703
8.2.3.4	Anwendungsbeispiel: Herstellen von Mischungen für Masterbatch im Heißverfahren für Spinnfaser und Folienqualität	704
8.2.4	Dosieren	705
8.2.5	Extruder	705
8.2.5.1	Premix	706
8.2.5.2	Split-feed	707
8.2.5.3	Nachfolgeaggregate	708
8.2.5.4	Verfahrensparameter	709
8.2.6	Qualitätsbestimmung	710
8.2.6.1	Farbmessung	710
8.2.6.2	Filterdrucktest	712
8.2.6.3	Agglomerate und Gelpartikel	713
8.3	Herstellung von TPV durch dynamische Vulkanisation	713
8.3.1	Klassifizierung von TPE	714
8.3.2	Herstellung von TPV auf Basis EPDM/PP	714
8.3.2.1	Basisrohstoffe für TPV (EPDM/PP)	714
8.3.2.2	Vernetzer	716
8.3.2.3	Herstellprozess für TPV (EPDM/PP)	716
8.3.2.4	Herausforderung Verweilzeit	718
8.3.2.5	Eigenschaften von TPV (EPDM/PP)	720
8.3.3	TPV auf Basis nachwachsender Rohstoffe („Bio-TPV“)	721
8.3.3.1	Basisrohstoffe für Bio-TPV	721
8.3.3.2	Herstellprozess für Bio-TPV	721
8.3.3.3	Eigenschaften von Bio-TPV	723
8.4	Entgasen von Polymerschmelzen	725
8.4.1	Aufgaben der Entgasung	726
8.4.2	Auslegung von Entgasungsextrudern	728
8.4.2.1	Materialzuführung und Flashentgasung	729
8.4.2.2	Gestufte Vakua	732
8.4.2.3	Füllgrad	733
8.4.2.4	Restentgasung und Schleppmitteleinsatz	734
8.4.2.5	Auslegung von Extruder und Entgasungszonen	739
8.4.3	Scale-up von Entgasungsextrudern	744
8.4.4	Verfahrensbeispiele	746
8.4.4.1	Entgasen von Lösungsmitteln aus LLDPE-Schmelzelösungen	746

8.4.4.2	Entgasen von Lösungsmitteln aus synthetischem Kautschuk (Styrol-Butadien-Verbindungen) .....	747
8.4.4.3	Entgasen von Vinylacetat aus LDPE/EVA-Copolymer .....	747
8.4.4.4	Entgasen von POM .....	748
8.4.4.5	Entgasen von PC .....	749
8.4.4.6	Entgasen von PMMA .....	749
8.4.4.7	Entgasen von PES und PSU .....	750
8.4.4.8	Entgasen von ABS .....	752
8.4.4.9	Entgasen von ungetrocknetem PET .....	752
8.4.5	Zusammenfassung .....	754
8.5	Reaktive Extrusion .....	755
8.5.1	Einführung .....	755
8.5.2	Parametereinflüsse anhand ausgewählter Anwendungsbeispiele	757
8.5.2.1	Aktivierete anionische Polymerisation von Lactamen .....	759
8.5.2.2	Polymerisation von Acrylaten .....	760
8.5.2.3	Ringöffnungspolymerisation von $\epsilon$ -Caprolacton .....	762
8.5.3	Wirtschaftlich relevantes Beispiel: Thermoplastische Polyurethane .....	763
8.5.4	Modellierung .....	765
8.5.5	Scale-up .....	767
8.6	Lebensmittelextrusion .....	770
8.6.1	Extrusion von Frühstückszerealien .....	773
8.6.2.1	Rohwaren und Mischerei .....	775
8.6.2.2	Vorkonditionierung und Extrusion .....	779
8.6.2.3	Kurzzeittemperierung und Flockierung .....	785
8.6.2.4	Röstung, Besprühung und Trocknung .....	787
8.6.2	Produkte .....	789
8.6.3	Lebensmittelsicherheit in der Lebensmittelextrusion .....	791
8.6.4	Zusammenfassung .....	795
8.6.5	Abkürzungsverzeichnis .....	795
8.7	Extrusion von pharmazeutischen Massen .....	797
8.7.1	Einleitung .....	797
8.7.2	Grundlagen der Schmelzextrusion .....	798
8.7.3	Maschinendesign .....	798
8.7.4	Anlagenlayout .....	800
8.7.5	Containment-Anforderungen .....	805
8.7.6	Zusammenfassung und Ausblick .....	806
<b>Index</b> .....		<b>807</b>