

Inhalt

Die Autoren	XIII
Prof. Dr. phil. nat. Wolfgang Kaiser	XIII
Prof. Dr. sc. techn. Willy Schlachter	XIV
Vorwort	XV
Hinweise zur Benutzung des Buches	XIX
Verzeichnis der physikalischen Größen	XXV
Griechische Zeichen	XXV
Lateinische Zeichen	XXVII
Teil 1 Einführende Grundlagen	1
1 Einleitung	3
1.1 Zur Bedeutung der Energietechnik in der Kunststoffverarbeitung	3
1.2 Erforderliche Grundlagen	5
1.2.1 Übersicht	5
1.2.2 Systembetrachtung	6
1.2.3 Systemarten	9
1.2.4 Methodik der Problemlösung	9
1.3 Beispiel B 1.1: Beschreibung der Wechselwirkung mit der Umgebung für die Systemgrenzen A und B des skizzierten Systems „Extruder“ ...	12
Literatur zu Kapitel 1	13
2 Thermodynamik	15
2.1 Thermodynamik – Übersicht	15
2.1.1 Vier Hauptsätze	15
2.1.2 Stoffverhalten und Zustandsgleichungen	19
2.2 Thermodynamik – Erster Hauptsatz für geschlossene Systeme	21
2.2.1 Totale Energie und innere Energie	21

2.2.2	Verschiedene Formen des Energieerhaltungssatzes	22
2.2.3	Arbeitsterme	23
2.2.4	Volumenänderungs- und Verschiebearbeit, quasistatische Zustandsänderung	24
2.2.5	Reversible und irreversible Prozesse	26
2.2.6	Reibungsarbeit	27
2.2.7	1. HS mit Volumenänderungs- und Reibungsarbeit für das geschlossene System	29
2.2.8	Erste Fundamentalrelation	30
2.3	Thermodynamik – Erster Hauptsatz für offene Systeme	31
2.3.1	Massenbilanz	31
2.3.2	Ein-/Ausschiebearbeit, Enthalpie und Energiebilanz	32
2.3.3	Bernoulli-Gleichung als Spezialfall	35
2.3.4	Spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck	36
2.3.5	Zweite Fundamentalrelation	37
2.3.6	1. HS mit Druckänderungs- und Reibungsarbeit für das offene System	38
2.4	Thermodynamik – Chemische Reaktionen	40
2.4.1	Einleitende Bemerkungen	40
2.4.2	Definitionen	41
2.4.3	Exotherme und endotherme Reaktionen	43
2.4.4	Gibbs-Energie/freie Enthalpie, freie Reaktionsenthalpie und Reaktionsentropie	44
2.5	Beispiel B 2.1: Wärmepumpe	47
2.6	Beispiel B 2.2: Isentrope und polytrope Zustandsänderungen	52
2.7	Beispiel B 2.3: Laden eines Druckluftspeichers I	56
2.8	Beispiel B 2.4: Laden eines Druckluftspeichers II	60
	Literatur zu Kapitel 2	64
3	Fluidmechanik	65
3.1	Einleitung	65
3.1.1	Allgemeine Bemerkungen	65
3.1.2	Grundlegende Strömungstypen	68
3.2	Klassifizierung viskoser Fluide	69
3.2.1	Ebene Scherströmung und Scherviskosität	69
3.2.2	Dehnströmung und Dehnviskosität	72
3.3	Aufwärmung von Polymerschmelzen durch Arbeitszufuhr	74
3.4	Einführung in die Ähnlichkeitstheorie am Beispiel Rohrströmung	77
3.4.1	Grundsätzliche Überlegungen	77
3.4.2	Moody-Diagramm	80
3.4.3	Hydraulischer Durchmesser	81
3.5	Ausgebildete laminare Strömung newtonscher Fluide in einfachen Kanälen	81

3.5.1	Kreisrohr	82
3.5.2	Schlitz (Rechteckquerschnitt)	84
3.6	Druckverluste newtonscher Fluide in Leitungssystemen	85
3.7	Beispiel B 3.1: Rohrströmung: Druckabfall und Temperaturerhöhung ..	87
3.8	Beispiel B 3.2: Zum Ansatz des Rohrreibungskoeffizienten λ	92
3.9	Beispiel B 3.3: Zur Auswertung von Modellversuchen	94
	Literatur zu Kapitel 3	98
4	Wärmeübertragung	99
4.1	Übersicht und Definitionen	99
4.2	Stationäre Wärmeleitung in ruhenden Stoffen und Wärmedurchgang .	101
4.2.1	Fouriersches Wärmeleitungsgesetz	101
4.2.2	Wärmedurchgang – ebene Wände	102
4.2.3	Wärmedurchgang in Hohlzylindern und Hohlkugeln	103
4.3	Wärmeübertrager und mittlere logarithmische Temperaturdifferenz ..	106
4.4	Konvektion – Allgemeines	108
4.5	Erzwungene Konvektion	111
4.5.1	Interne Strömung (Rohre, Kanäle)	111
4.5.2	Externe Strömung (Plattenströmung, querangeströmte Körper)	116
4.5.3	Prallströmung	117
4.6	Freie Konvektion	120
4.7	Strahlung	123
4.7.1	Einführung und Definitionen	123
4.7.2	Schwarzkörperstrahlung	126
4.7.3	Emissions-, Absorptions- und Transmissionsverhältnis	128
4.7.4	Strahlungsaustausch – Einführung	130
4.7.5	Sichtfaktoren (View-Factors)	131
4.7.6	Strahlungsaustausch zwischen schwarzen Flächen	135
4.7.7	Strahlungsaustausch zwischen grau-diffus strahlenden Flächen	136
4.8	Beispiel B 4.1: Kritischer Isolationsradius	140
4.9	Beispiel B 4.2: Rohrisolation	145
4.10	Beispiel B 4.3: Abkühlung Folie	150
4.11	Beispiel B 4.4: Wärmeverlust Werkzeug	154
	Literatur zu Kapitel 4	156
5	Materialverhalten	157
5.1	Grundsätzliche Bemerkungen	157
5.2	Materialverhalten von Kunststoffen	158
5.2.1	Grundlagen	158
5.2.1.1	Polymer-Rohstoff/e	159
5.2.1.2	Zusatzstoff/e/Additiv/e	161

5.2.2	Einteilung der Kunststoffe	163
5.2.3	Bindungskräfte in makromolekularen Systemen	163
5.2.3.1	Hauptvalenzbindungen	163
5.2.3.2	Nebenvalenzbindungen	165
5.2.3.3	Mechanische Bindungen	168
5.2.4	Verhalten von Kunststoffen im festen Zustand	169
5.2.4.1	Thermisch-mechanisches Verhalten	169
5.2.5	Fließverhalten (Rheologie) von Kunststoffschmelzen	174
5.2.5.1	Viskositätsfunktionen von Thermoplast-Schmelzen ..	176
5.2.5.2	Zeitverhalten von thermisch instabilen Thermoplast-Schmelzen und reagierenden Formmassen	179
5.2.6	Thermische Kennwerte	181
5.2.6.1	Spezifische Wärmekapazität c_p , spezifische Enthalpie h	183
5.2.6.2	Wärmeleitfähigkeit λ	185
5.2.6.3	Temperaturleitfähigkeit a und Wärmeeindringzahl b ..	187
5.2.6.4	Thermische Ausdehnung	189
5.2.6.5	p - v - T -Diagramme	191
5.2.6.6	Sonderfall: Schweißen von Kunststoffen	196
5.2.7	Thermische Einflüsse bei der Alterung von Kunststoffen	198
5.2.7.1	Alterung und Alterungsvorgänge	198
5.2.7.2	Thermisches Alterungsverhalten von Kunststoffen ...	199
5.3	Zum fluidmechanischen Verhalten von Fluiden	201
5.3.1	Einleitung	201
5.3.2	Newtonsches und nicht-newtonsches Fluidverhalten, experimentelle Beobachtungen	202
5.3.3	Zur tensoriellen Beschreibung	204
5.3.4	Rheologische Stoffgleichungen	208
5.4	Quellen für Stoffdaten	209
5.4.1	Flüssigkeiten, Dämpfe und Gase	209
5.4.1.1	Ideale Gase und feuchte Luft	210
5.4.1.2	h - x -Diagramme	210
5.4.1.3	Öle (Mineral- und Hydrauliköle)	210
5.4.2	Kunststoffe	211
	Literatur zu Kapitel 5	211

Teil 2 Erweiterte Grundlagen 213

6 Stationäre Wärmeleitung 215

6.1	Temperaturverlauf in Rippen (Rippentheorie)	215
6.1.1	Energiebilanz	215
6.1.2	Lange Rippe	217
6.1.3	Rippe endlicher Länge	218
6.1.4	Rippenwirkungsgrad	220
6.1.5	Längsleitung in langen Körpern mit Relativbewegung	221

6.2	Beispiel B 6.1: Wirksamkeit von Rippen	224
6.3	Beispiel B 6.2: Abkühlung Polyamid-Draht – Stationäre Betrachtung ..	228
	Literatur zu Kapitel 6	232
7	Instationäre Wärmeleitung	233
7.1	Einleitung und Fouriersche Wärmeleitungsgleichung	233
7.2	Einführung in die eindimensionale Wärmeleitung, Biot-Zahl und Fourier-Zahl	239
7.2.1	Anfangsphase („early regime“) – näherungsweise Betrachtung	240
7.2.2	Spätphase („late regime“)	242
7.2.3	Halbunendlicher Körper	244
7.3	Kontaktproblem: zwei sich berührende halbunendliche Körper	247
7.4	Periodische Temperaturänderungen	249
7.5	Eindimensionaler Wärmefluss in einfachen Körpern – Einleitung	251
7.6	Eindimensionaler Wärmefluss in einfachen Körpern – Platte	255
7.7	Eindimensionaler Wärmefluss in einfachen Körpern – Zylinder und Kugel	260
7.7.1	Langer Zylinder	260
7.7.2	Kurzer Zylinder	262
7.7.3	Kugel	262
7.8	Näherungslösungen für Platte, Zylinder und Kugel	265
7.8.1	Korrelationen	265
7.8.2	Vereinfachte Ermittlung der Abkühlzeiten	266
7.8.2.1	Abkühlzeiten für $Bi \rightarrow \infty$	266
7.8.2.2	Abkühlzeiten für beliebige Werte Bi	268
7.8.3	Effektive Temperaturleitfähigkeit α_{eff}	270
7.9	Beispiel B 7.1: Abkühlung Polyamid-Draht – Instationäre Betrachtung .	271
7.10	Beispiel B 7.2: Wanddicke versus Zykluszeit	272
7.11	Beispiel B 7.3: Temperieren Werkzeug	280
7.12	Beispiel B 7.4: Kühlwalze	287
	Literatur zu Kapitel 7	291
8	Thermodynamik	293
8.1	Trocknung	293
8.1.1	Einleitung	293
8.1.2	Eigenschaften feuchter Luft	295
8.1.3	Eigenschaften des Feuchtgutes	305
8.1.4	Massen- und Energiebilanz	306
8.2	Ergänzungen zur Trocknung	307
8.2.1	Sorptionsisotherme	307
8.2.2	Kühlgrenze	308
8.2.3	Zeitlicher Verlauf der Lufttrocknung	311

8.2.3.1	Qualitative Betrachtung	311
8.2.3.2	Vereinfachte quantitative Betrachtung für die Trocknungsphase I	312
8.2.3.3	Örtlicher und zeitlicher Verlauf der Lufttrocknung über- und durchströmter ruhender Güter	320
8.3	Beispiel B 8.1: Trocknung Granulat	324
8.4	Beispiel B 8.2: Kühlgrenze	328
8.5	Beispiel B 8.3: Bandtrockner	331
	Literatur zu Kapitel 8	334
9	Fluidmechanik	337
9.1	Einleitung	337
9.2	Fließgesetz von Ostwald-de Waele	339
9.3	Ebene Kanalströmung newtonscher Fluide	341
9.3.1	Geschwindigkeitsprofil	341
9.3.2	Temperaturprofil	345
9.3.3	Energie- und Wärmeflussbetrachtung	347
9.4	Ebene Kanalströmung nicht-newtonscher Fluide	350
9.4.1	Geschwindigkeitsprofil	350
9.4.2	Temperaturprofil	353
9.5	Axiale Rohrströmung nicht-newtonscher Fluide	356
9.5.1	Geschwindigkeitsprofil	356
9.5.2	Temperaturprofil	357
9.6	Axiale Ringspaltströmung newtonscher Fluide	358
9.7	Abschließende Hinweise	362
9.8	Beispiel B 9.1: Reibungspumpe	365
9.9	Beispiel B 9.2: Zur Ähnlichkeitstheorie nicht-newtonscher Fluide	369
9.10	Beispiel B 9.3: Tankentleerung	371
9.11	Beispiel B 9.4: Viskose Rohrströmung: Druckabfall und Temperaturerhöhung	376
9.12	Beispiel B 9.5: Temperaturprofil bei viskoser Rohrströmung	379
	Literatur zu Kapitel 9	382
10	Recycling von Kunststoffen	383
10.1	Einleitung	383
10.1.1	Im Spannungsfeld der Kunststoffabfälle zwischen Recycling und kontrollierter energetischer Nutzung	383
10.1.2	Nachhaltige Entwicklungsziele, SDG	384
10.1.3	Die Kunststofftechnik und ihr Beitrag zu den SDGs	385
10.1.4	Fazit	386
10.2	Abfallwirtschaft und Grenzen des Recyclings	386

10.2.1	Abfall- und Recyclinghierarchie	386
10.2.2	Abfallwirtschaft und Recycling aus Sicht der Kunststoffindustrie	387
10.2.3	Deponie	388
10.2.4	Littering alias Vermüllung	389
10.3	Behandlung von Kunststoffabfällen	389
10.3.1	Die Crux des werkstofflichen Recyclings	390
10.3.2	Am Ende der Lebensdauer angelangt?	393
10.4	Kontrollierte energetische Nutzung	394
10.4.1	Kehrichtheizkraftwerke	394
10.4.2	Zementindustrie	396
10.4.3	Hochofenprozess	396
10.5	Energiebilanzen	397
10.6	Zusammenfassung und Ausblick	398
10.6.1	Ausblick	399
	Literatur zu Kapitel 10	400
Teil 3	Praxisbeispiele	401
11	Praxisbeispiele	403
11.1	Energiefluss Produktion	403
11.2	Energiebedarf Spritzgießmaschine	406
11.3	Energiebilanz Spritzgießmaschine	409
11.4	Düsencharakteristik	417
11.5	Granulat-Trocknung	420
11.6	Reibschweißen	431
11.7	Speicherhydraulik	438
	Literatur zu Kapitel 11	448
12	Anhang Bilder	449
	Index	451