

Auf einen Blick

Über den Autor	17
Einführung	19
Teil I: Verfahrenstechnik – einige Grundlagen, damit Sie sich nicht verfahren	25
Kapitel 1: Verfahrenstechnik – was ist das eigentlich?	27
Kapitel 2: Aggregatzustände	43
Kapitel 3: Konzentrationen	75
Kapitel 4: Systeme, Zustände und Prozesse	85
Kapitel 5: Bilanzen	93
Kapitel 6: Thermodynamische Grundlagen	101
Kapitel 7: Kennzeichnung von Partikeln	117
Teil II: Wärmeübertragung – der Kälte den Kampf angesagt	135
Kapitel 8: Grundlagen der Wärmeübertragung	137
Kapitel 9: Wärmeleitung	153
Kapitel 10: Konvektiver Wärmeübergang	165
Kapitel 11: Wärmeübertragung durch Strahlung	177
Kapitel 12: Wärmeübertrager	187
Kapitel 13: Zweiphasen-Wärmeübergang	199
Teil III: Thermische Verfahrenstechnik – Trennung wegen Überhitzung	221
Kapitel 14: Thermische Trennverfahren	223
Kapitel 15: Physikalisch-chemische Trennverfahren	247
Kapitel 16: Gleichgewicht	283
Kapitel 17: Auslegung thermischer Trennverfahren – das Modell der theoretischen Trennstufen	311
Kapitel 18: Auslegung thermischer Trennverfahren – Stofftransport und HTU/NTU-Modell	331
Kapitel 19: Trocknung	351
Teil IV: Mechanische Verfahrenstechnik – Kräfte bringen Teilchen in Schwung	371
Kapitel 20: Mechanische Trennverfahren	373
Kapitel 21: Mischen	409

8 Auf einen Blick

Kapitel 22: Zerteilprozesse	437
Kapitel 23: Agglomerieren.....	455
Teil V: Der Top-Ten-Teil	481
Kapitel 24: Zehn wichtige Personen der Verfahrenstechnik	483
Stichwortverzeichnis	493

Inhaltsverzeichnis

Über den Autor	17
Danksagung	17
Einführung	19
Törichte Annahmen über den Leser	19
Über dieses Buch	20
Wie dieses Buch aufgebaut ist	21
Teil I: Verfahrenstechnik – einige Grundlagen, damit Sie sich nicht verfahren	21
Teil II: Wärmeübertragung – der Kälte den Kampf angesagt	21
Teil III: Thermische Verfahrenstechnik – Trennung wegen Überhitzung	22
Teil IV: Mechanische Verfahrenstechnik – Kräfte bringen Teilchen in Schwung	22
Teil V: Der Top-Ten-Teil	22
Symbole, die in diesem Buch verwendet werden	22
Wie es weitergeht	23
TEIL I	
VERFAHRENSTECHNIK – EINIGE GRUNDLAGEN, DAMIT SIE SICH NICHT VERFAHREN	25
Kapitel 1	
Verfahrenstechnik – was ist das eigentlich?	27
Verfahrenstechnik, die Stoffumwandlungstechnik	27
Stoffe werden umgewandelt	28
Sind Stoffumwandlungsprozesse eigentlich kompliziert?	29
Prozesse in Unit Operations zerlegen	31
Einteilung der Unit Operations	31
Unit Operations am Beispiel eines Kohlekraftwerks	32
Thermische und mechanische Verfahren	34
Geschichte der Verfahrenstechnik	36
Am Anfang war ... das Feuer	36
Früh übt sich: Destillation	37
Unter Tage: Bergbau	39
Die Industrialisierung	39
Die Entwicklung der Verfahrenstechnik	41
Kapitel 2	
Aggregatzustände	43
Phasen und Gemische	43
Phase, verfahrenstechnisch gesehen	43
Homogene und heterogene Gemische	44
Grundlegende Überlegungen zu Aggregatzuständen	45
Phasendiagramm	46
Ist Wasser nicht normal?	48



10 Inhaltsverzeichnis

Teilchenmodell zur Beschreibung der Aggregatzustände	49
Gasförmiger Zustand	49
Flüssiger Zustand	61
Fester Zustand	63
Phasenübergänge	65
Phasenübergänge bei Wasser	65
Sieden	67
Dampfdruckkurve	69
Verdunstung	72

Kapitel 3

Konzentrationen	75
Phasen werden durchgemischt	75
Wie konzentriert soll's denn sein?	76
Molare Konzentration	76
Massenkonzentration	77
Massenanteil	77
Stoffmengenanteil	79
Beladung	79
Volumenanteil	81
Molalität	84

Kapitel 4

Systeme, Zustände und Prozesse	85
System	85
Wie soll Ihr System aussehen?	86
Seltsame Zustände sind das	87
Ein wegunabhängiger Zustand?	88
Zustandsgrößen	89
<i>p</i> , <i>V</i> -Diagramm	89
Prozesse	90

Kapitel 5

Bilanzen	93
Bilanzgrundlagen	93
Was hätten Sie denn gern bilanziert?	94
Raum für Bilanzen	95
Bilanzzeitraum	96
Aufstellen einer Bilanz	96
Stoffbilanz	97

Kapitel 6

Thermodynamische Grundlagen	101
Definition Thermodynamik	101
0. Hauptsatz der Thermodynamik	102



1. Hauptsatz der Thermodynamik.....	102
Innere Energie.....	103
1. Hauptsatz für geschlossene Systeme.....	105
Offene Systeme.....	105
Kalorische Zustandsgleichung.....	107
Berechnung der inneren Energie.....	108
Berechnung der Enthalpie.....	108
Spezifische Wärmekapazität.....	109
2. Hauptsatz.....	111
Reversibel oder irreversibel, das ist hier die Frage.....	112
Exergie und Anergie.....	112
Entropie.....	113
Berechnung der Entropie.....	115
3. Hauptsatz.....	115

Kapitel 7

Kennzeichnung von Partikeln..... 117

Äquivalentdurchmesser.....	118
Feinheitsmerkmal.....	118
Sinkgeschwindigkeit.....	119
Welchen Äquivalentdurchmesser wünschen Sie?.....	120
Darstellung von Partikelgrößenverteilungen.....	122
Verteilungssummenkurve.....	122
Verteilungsdichtekurve.....	126
Zusammenhang zwischen Verteilungsdichte- und Verteilungssummenkurve.....	131
Einfluss der Mengenart auf die Partikelgrößenverteilung.....	132

TEIL II

WÄRMEÜBERTRAGUNG – DER KÄLTE DEN KAMPF

ANGESAGT..... 135

Kapitel 8

Grundlagen der Wärmeübertragung..... 137

Grundlagen der Wärmeübertragung.....	137
Temperatur.....	141
Temperaturskalen.....	142
Temperaturmessung.....	143
Wärmestrom und Wärmestromdichte.....	144
Arten der Wärmeübertragung.....	145
Wärmeleitung.....	146
Konvektion.....	148
Strahlung.....	150
Gesamter übertragener Wärmestrom.....	151



12 Inhaltsverzeichnis

Kapitel 9	
Wärmeleitung	153
Stationäre und instationäre Wärmeleitung.....	153
Stationäre Wärmeleitung durch eine ebene Wand	154
Wärmeleitfähigkeit.....	156
Stationäre Wärmeleitung durch mehrschichtige ebene Wände	160
Wärmeleitung durch zylindrische Wände.....	162
Kapitel 10	
Konvektiver Wärmeübergang	165
Grundlagen des konvektiven Wärmetransports.....	165
Strömungsgrenzschicht.....	166
Laminare Grenzschicht.....	167
Wärmeübergang.....	168
Grenzschicht.....	169
Ähnlichkeitstheorie.....	170
Wärmeübergangskoeffizient.....	170
Wärmedurchgang.....	173
Wärmedurchgangskoeffizient.....	174
U-Wert.....	174
Kapitel 11	
Wärmeübertragung durch Strahlung	177
Grundbegriffe der Temperaturstrahlung.....	177
Temperaturstrahlung.....	177
Wellenlängenbereich der Temperaturstrahlung.....	178
Absorption, Reflexion, Transmission.....	179
Durch Strahlung übertragene Wärmemenge.....	182
Wärmestrahlung zwischen Körpern.....	183
Kapitel 12	
Wärmeübertrager	187
Einteilung Wärmeübertrager.....	187
Direkte Wärmeübertrager.....	188
Indirekte Wärmeübertrager.....	188
Halbindirekte Wärmeübertragung.....	189
Wärmeübertragende Medien.....	189
Bauarten von Rekuperatoren.....	190
Doppelrohr-Wärmeübertrager.....	190
Rohrbündel-Wärmeübertrager.....	191
Platten-Wärmeübertrager.....	192
Spiral-Wärmeübertrager.....	192
Rohrschlangen-Wärmeübertrager.....	193



Auslegung von Rekuperatoren.....	194
Strömungsführung in Rekuperatoren.....	194
Temperaturverläufe bei Gleich- und Gegenstrom.....	195
Übergehender Wärmestrom.....	197
Heiz- und Kühlmedien.....	197

**Kapitel 13
Zweiphasen-Wärmeübergang..... 199**

Kondensation.....	199
Dampfdruckkurve.....	199
Kondensation an gekühlten Flächen.....	200
Film- und Tropfenkondensation.....	202
Kondensatorbauarten.....	205
Sieden.....	205
Was ist denn nun eigentlich siedend?.....	205
Siedevorgang.....	206
Behältersieden.....	207
Strömungssieden.....	212
Verdampfer.....	213

**TEIL III
THERMISCHE VERFAHRENSTECHNIK – TRENNUNG WEGEN
ÜBERHITZUNG..... 221**

**Kapitel 14
Thermische Trennverfahren..... 223**

Thermische und physikalisch-chemische Trennverfahren.....	223
Thermische Trennverfahren.....	225
Physikalisch-chemische Trennverfahren.....	226
Physikalische Grundprinzipien.....	228
Überblick über Thermische Trennverfahren.....	229
Destillation.....	229
Rektifikation.....	237
Kristallisation.....	243

**Kapitel 15
Physikalisch-chemische Trennverfahren..... 247**

Absorption.....	248
Verfahrensprinzip der Absorption.....	248
Haupteinsatzgebiete.....	249
Extraktion.....	253
Flüssig-flüssig-Extraktion.....	255
Fest-flüssig-Extraktion.....	256
Hochdruckextraktion.....	260
Adsorption.....	263
Wie funktioniert die Adsorption?.....	263
Und wo wird die Adsorption eingesetzt?.....	264

14 Inhaltsverzeichnis

Membranverfahren	269
Verfahrensprinzip	270
Mikro- und Ultrafiltration	272
Umkehrosmose	273
Pervaporation	277
Gaspermeation	277
Dialyse	278
Elektrodialyse	280

Kapitel 16

Gleichgewicht..... 283

Ist Gleichgewicht für uns Menschen wichtig?	283
Grundlagen der Gleichgewichtsberechnung	285
Gleichgewichtsbedingungen	286
Vorausberechnung von Gleichgewichten	287
Das Phasengleichgewicht Gasphase-Flüssigphase	288
Dampfdruck	289
Berechnung der Partialdrücke in Gas und Flüssigkeit	290
Berechnung des Gleichgewichts	291
Gleichgewicht für Absorption	294
Gleichgewicht für Rektifikation	296
Siedediagramm	297
Gleichgewichtsdiagramm	299
Phasengleichgewicht Flüssigphase-Flüssigphase	302
Wer ist x und wer y?	302
Gleichgewichtsdarstellung im Dreiecksdiagramm	303

Kapitel 17

Auslegung thermischer Trennverfahren – das Modell der theoretischen Trennstufen..... 311

Das Modell der theoretischen Trennstufe	312
Wie viel theoretische Trennstufen hätten Sie denn gern?	314
Bilanzlinie	317
Geht's eigentlich auch praktisch?	322
Kolonneneinbauten	324
Bodenkolonnen	324
Füllkörper und Packungen	326

Kapitel 18

Auslegung thermischer Trennverfahren – Stofftransport und HTU/NTU-Modell..... 331

Berechnung der Kolonnenhöhe	331
Grundlagen des Stofftransports	334
Diffusion	336
Konvektion	339

Stoffdurchgang durch Grenzflächen	341
Stofftransport zwischen Phasen	341
Stoffdurchgang	342
HTU/NTU-Modell	347

Kapitel 19

Trocknung..... 351

Prinzip der Trocknung	351
Trocknungsverfahren	353
Technische Trocknung feuchter Güter	356
Wärmeübertragung bei der Trocknung	357
Wo die Feuchtigkeit steckt	359
Trocknungsverlauf	360
Trockner	362
Konvektionstrockner	362
Kontaktstrockner	368

TEIL IV

MECHANISCHE VERFAHRENSTECHNIK – KRÄFTE BRINGEN

TEILCHEN IN SCHWUNG..... 371

Kapitel 20

Mechanische Trennverfahren..... 373

Grundoperationen der mechanischen Verfahrenstechnik	374
Grundlagen mechanischer Trennverfahren	375
Beschreibung des Trennvorgangs	376
Trennkurve	380
Sedimentation	381
Trennprinzip der Sedimentation	381
Auslegung einer Sedimentation	383
Sedimentationsapparate	386
Filtrieren	389
Abscheidemechanismen	390
Triebkraft der Filtration	391
Bauformen filternder Abscheider	392
Klassieren	405
Siebklassieren	405
Stromklassieren	407

Kapitel 21

Mischen..... 409

Übersicht über Mischverfahren	409
Kennzeichnung des Mischungszustands	410
Beschreibung des Mischungszustands	411
Mischgüte	413
Mischzeit	413
Mischapparate	414
Flüssigkeit als kohärente Phase	415



16 Inhaltsverzeichnis

Mischen von Feststoffen.....	423
Gas als kohärente Phase.....	429

Kapitel 22

Zerteilprozesse 437

Feststoffzerkleinerung.....	437
Materialverhalten.....	438
Kenngößen für die Zerkleinerung.....	443
Beanspruchungsarten.....	445
Zerkleinerungsverfahren.....	446
Zerkleinerungsanlagen.....	451
Flüssigkeitszerstäubung.....	452
Zerstäubungsdüsen.....	452
Fliehkraftzerstäuber.....	453

Kapitel 23

Agglomerieren 455

Grundlagen der Agglomeration.....	455
Anwendung der Agglomeration.....	456
Was passiert eigentlich bei der Agglomeration?.....	456
Aufbauagglomeration.....	461
Prinzip der Aufbauagglomeration.....	461
Apparate zur Durchführung der Aufbauagglomeration.....	463
Pressagglomeration.....	467
Grundlagen der Pressagglomeration.....	467
Maschinen zur Pressagglomeration.....	468
Sintern.....	474
Agglomeration in flüssiger Phase.....	475
Koagulation.....	476
Flockung.....	477

TEIL V

DER TOP-TEN-TEIL 481

Kapitel 24

Zehn wichtige Personen der Verfahrenstechnik..... 483

Celsius.....	483
Dalton.....	484
Fourier.....	485
Henry.....	486
Fick.....	486
Raoult.....	486
Reynolds.....	487
Nußelt.....	487
Carl Bosch.....	488
Kirschbaum.....	488

Stichwortverzeichnis 493

