

Inhalt

Teil I Einphasige Systeme

1 Grundlagen der Transportprozesse.....	1
1.1 Molekulare Transportvorgänge.....	1
1.1.1 Molekularer Impulstransport	3
1.1.2 Molekularer Energietransport	5
1.1.3 Molekularer Stofftransport	6
1.2 Konvektive Transportvorgänge.....	10
1.2.1 Konvektiver Impulstransport	10
1.2.2 Konvektiver Energietransport.....	11
1.2.3 Konvektiver Stofftransport.....	12
1.2.4 Konvektiver Energie- und Stoffübergang.....	12
1.3 Turbulente Transportvorgänge.....	16
1.4 Umwandlungsvorgänge.....	18
1.4.1 Stoffumwandlung	18
1.4.2 Energieumwandlung	19
1.4.3 Impulsänderung	20
1.5 Bilanzgleichungen.....	20
1.5.1 Differentielle Bilanzgleichungen	21
1.5.2 Integrale Bilanzgleichungen	31
1.6 Molekulare Transportkoeffizienten	33
1.6.1 Viskosität	33
1.6.2 Wärmeleitfähigkeit	40
1.6.3 Diffusionskoeffizienten.....	41
1.7 Aufgaben.....	43
1.8 Literatur.....	47
2 Diffusion in ruhenden Medien	49
2.1 Stationäre Diffusion	49
2.1.1 Diffusion ohne chemische Reaktion in einer ebenen Schicht	49
2.1.2 Diffusion mit homogener chemischer Reaktion	51
2.1.3 Diffusion mit heterogener chemischer Reaktion.....	57
2.2 Instationäre Diffusion.....	59
2.2.1 Instationäre Diffusion ohne chemische Reaktion in einer Platte.....	60

VIII Inhalt

2.2.2	Instationäre Diffusion in einer Kugel.....	64
2.3	Aufgaben.....	67
2.4	Literatur.....	71
3	Beschreibung von Ausgleichsvorgängen in technischen Systemen.....	73
3.1	Idealisierte Modellapparate.....	73
3.1.1	Idealer Rührkessel.....	74
3.1.2	Ideales Strömungsrohr.....	76
3.2	Reale Apparate.....	76
3.2.1	Mischvorgänge.....	76
3.2.2	Kontinuierlich betriebene reale Apparate.....	80
3.3	Verweilzeitverteilungen.....	83
3.4	Aufgaben.....	91
3.5	Literatur.....	94
4	Strömungen in Rohren.....	95
4.1	Impulstransport.....	95
4.1.1	Laminare Rohrströmung.....	95
4.1.2	Turbulente Strömung.....	97
4.1.3	Strömungswiderstand in Rohren.....	104
4.1.4	Strömungen durch Rohrleitungssysteme.....	108
4.2	Stoffübergang.....	109
4.2.1	Laminare Strömung.....	109
4.2.2	Turbulente Rohrströmung.....	117
4.3	Stoffübergang mit heterogener chemischer Reaktion.....	117
4.4	Strömungen nicht-Newtonscher Flüssigkeiten.....	120
4.4.1	Geschwindigkeitsprofile.....	120
4.4.2	Widerstandsgesetz.....	122
4.5	Dispersion in Rohrströmungen.....	124
4.6	Aufgaben.....	126
4.7	Literatur.....	129
5	Strömungen an ebenen Platten.....	131
5.1	Impulstransport.....	132
5.1.1	Laminare Grenzschicht.....	132
5.1.2	Turbulente Grenzschicht.....	138
5.1.3	Widerstandsgesetz.....	138
5.2	Stoffübergang.....	140
5.2.1	Laminare Strömung.....	140
5.2.2	Turbulente Strömung.....	146
5.3	Fluiddynamik und Stofftransport bei hohem Partialdruck.....	147
5.3.1	Physikalische Problematik.....	147
5.3.2	Geschwindigkeitsprofil.....	149
5.3.3	Konzentrationsprofil.....	150
5.3.4	Reibungsbeiwert.....	152
5.3.5	Mittlere Sherwoodzahl.....	153

5.4 Stoffübergang mit heterogener chemischer Reaktion.....	155
5.5 Aufgaben	159
5.6 Literatur.....	161
6 Trocknung fester Stoffe.....	163
6.1 Grundbegriffe der thermischen Trocknung	163
6.2 Eigenschaften feuchter Güter.....	165
6.2.1 Arten der Feuchtigkeitsbindung.....	165
6.2.2 Bewegung der Feuchtigkeit im Gut	167
6.3 Eigenschaften des feuchten Gases.....	169
6.4 Darstellung der einstufigen Trocknung im Mollier-Diagramm	172
6.4.1 Beharrungstemperatur	172
6.4.2 Kühlgrenztemperatur	174
6.4.3 Einstufiger Trockner	175
6.5 Wärmeübertragung an das feuchte Gut	178
6.5.1 Konvektionstrocknung	178
6.5.2 Kontakttrocknung (konduktive Trocknung)	179
6.6 Kinetik der Trocknung, Trocknungsverlauf.....	179
6.6.1 I. Trocknungsabschnitt.....	182
6.6.2 II. Trocknungsabschnitt.....	185
6.7 Bauarten von Trocknern	189
6.7.1 Konvektionstrockner	189
6.7.2 Kontakttrockner	193
6.7.3 Strahlungstrockner	195
6.8 Aufgaben	196
6.9 Literatur.....	200
7 Einphasig durchströmte Feststoffschüttungen	201
7.1 Kennzeichnende Größen einer Feststoffschüttung.....	201
7.1.1 Feststoffpartikeln	202
7.1.2 Lückengrad.....	204
7.1.3 Hydraulischer Durchmesser	206
7.1.4 Geschwindigkeitsverteilung innerhalb einer Feststoffschüttung.....	208
7.2 Druckverlust	209
7.3 Wärmeübergang.....	213
7.4 Stoffübergang	215
7.5 Modellierung von Austauschvorgängen in Festbetten.....	217
7.6 Aufgaben	223
7.7 Literatur.....	226
8 Filtration und druckgetriebene Membranverfahren.....	229
8.1 Einteilung der Trennverfahren	229
8.2 Prozessführung	230
8.2.1 Kuchenfiltration.....	231
8.2.2 Querstromfiltration	232

8.2.3 Tiefenfiltration.....	233
8.3 Kennzeichnung des Trennerfolgs.....	235
8.4 Filtration.....	238
8.4.1 Grundlegende Theorie der Filtration.....	238
8.4.2 Kuchenfiltration wässriger Suspensionen	240
8.4.3 Staubabscheidung durch Filtration.....	251
8.5 Druckgetriebene Membranverfahren	253
8.5.1 Definitionen.....	254
8.5.2 Grundlegende Theorie zu Membranverfahren.....	256
8.5.3 Mikro- und Ultrafiltration	261
8.5.4 Nanofiltration	261
8.5.5 Umkehrosiose.....	262
8.5.6 Apparative Umsetzung der Membranfiltration	264
8.6 Aufgaben.....	267
8.7 Literatur.....	270

Teil II Mehrphasige Systeme

9 Stoffaustausch zwischen zwei fluiden Phasen.....	273
9.1 Stoffübergangstheorien	273
9.1.1 Filmtheorie.....	274
9.1.2 Grenzschichttheorie	277
9.1.3 Penetrations- und Oberflächenenerneuerungstheorie	279
9.1.4 Turbulenztheorie.....	281
9.2 Stoffdurchgang	283
9.3 Stoffaustausch mit homogener chemischer Reaktion.....	288
9.3.1 Penetrationstheorie.....	288
9.3.2 Filmtheorie	293
9.3.3 Generelle Auswirkungen einer homogenen Reaktion erster Ordnung auf den Stofftransport.....	295
9.4 Aufgaben.....	296
9.5 Literatur.....	298
10 Strömung von Flüssigkeitsfilmen.....	301
10.1 Fluiddynamik von Rieselfilmen.....	302
10.2 Wärmeübertragung zwischen Wand und Flüssigkeit	306
10.3 Stoffübertragung zwischen Rieselfilm und Gas.....	308
10.3.1 Laminare Rieselfilme.....	309
10.3.2 Filme mit welliger Oberfläche.....	315
10.3.3 Gasseitiger Stoffübergang	317
10.4 Stofftransport mit homogener chemischer Reaktion	318
10.4.1 Reaktion 1. Ordnung.....	320
10.4.2 Reaktion 2. Ordnung.....	323
10.5 Technische Anwendungen von Rieselfilmapparaten.....	326

10.6 Aufgaben	328
10.7 Literatur	330
11 Partikelbewegung	333
11.1 Stationäre Partikelbewegung	333
11.1.1 Feste Einzelpartikel.....	333
11.1.2 Fluide Partikeln.....	342
11.2 Instationäre Partikelbewegung	350
11.3 Bewegung von Partikelschwärmen	352
11.3.1 Feste Partikeln	353
11.3.2 Fluide Partikeln.....	357
11.4 Aufgaben	359
11.5 Literatur.....	360
12 Stofftransport bei Partikeln	363
12.1 Stationärer Stoffübergang.....	363
12.1.1 Feste Einzelkörper	364
12.1.2 Fluide Partikeln.....	371
12.2 Instationärer Stofftransport bei festen und fluiden Partikeln	377
12.2.1 Mathematische Grundlagen und Definitionen	378
12.2.2 Diffusiver Transport in einer Kugel	381
12.2.3 Stoffübergang bei schleichender Umströmung	382
12.2.4 Spezielle Lösung für sehr kurze Zeiten	382
12.2.5 Berechnung der übergehenden Masse für sehr lange Zeiten.....	383
12.2.6 Ergebnisse der numerischen Lösung	383
12.3 Aufgaben	386
12.4 Literatur.....	389
13 Wirbelschichten.....	391
13.1 Erscheinungsformen von Wirbelschichten	391
13.2 Fluiddynamische Grundlagen	393
13.2.1 Druckverlustcharakteristik.....	393
13.2.2 Lockerungsgeschwindigkeit	394
13.2.3 Expansion von Fließbetten	396
13.2.4 Feststoffverhalten bei der Fluidisierung mit einem Gasstrom	397
13.2.5 Betriebszustände in Wirbelschichten	399
13.3 Gasblasen in Wirbelschichten.....	401
13.4 Feststoffmischung in Wirbelschichten	404
13.5 Gasphasenvermischung in Wirbelschichten	407
13.6 Stoffübergang zwischen Fluid und Partikeln	407
13.7 Modellierung von Wirbelschichtreaktoren	408
13.8 Technische Anwendungen.....	409
13.8.1 Acrylnitrilsynthese	409
13.8.2 Verbrennung von Kohle	410
13.9 Aufgaben	412
13.10 Literatur	414

14 Feststofftransport in Rohrleitungen.....	415
14.1 Physikalische Grundlagen des Feststofftransports	416
14.2 Pneumatische Förderung	417
14.2.1 Einteilung der pneumatischen Förderung	418
14.2.2 Bestimmung des Druckverlustes.....	421
14.2.3 Luftexpansion entlang des Förderwegs	432
14.2.4 Fördergeschwindigkeit	433
14.2.5 Technische Fördersysteme.....	437
14.3 Hydraulische Förderung	438
14.4 Aufgaben	440
14.5 Literatur.....	442
15 Gas/Flüssigkeits-Strömungen in Rohren	445
15.1 Strömungs- und Phasenverteilungszustände.....	445
15.1.1 Strömungen in vertikalen Rohren	445
15.1.2 Strömungen in horizontalen Rohren	447
15.2 Grundlegende Beziehungen und Definitionen	448
15.3 Bestimmung der Strömungsform	450
15.3.1 Strömungsformen in horizontalen Rohren.....	452
15.3.2 Strömungsformen in vertikalen Rohren	453
15.3.3 Schlupf.....	455
15.4 Berechnungsverfahren für Gas/Flüssigkeits-Strömungen	456
15.4.1 Homogenes Modell	457
15.4.2 Heterogenes Modell (Schlupfmodell)	461
15.5 Aufgaben	465
15.6 Literatur.....	466
16 Bodenkolonnen	467
16.1 Thermodynamische Grundlagen	467
16.1.1 Stoffbilanz um eine Rektifizierkolonne.....	468
16.1.2 Stoffbilanz um eine Absorptions- oder Desorptionskolonne	472
16.2 Konstruktive Merkmale.....	474
16.3 Belastungsbereich und Belastungskennfeld von Kolonnenböden	479
16.3.1 Maximale Gasbelastung	480
16.3.2 Minimale Gasbelastung	481
16.3.3 Maximale Flüssigkeitsbelastung.....	483
16.3.4 Minimale Flüssigkeitsbelastung.....	484
16.3.5 Belastungskennfeld	484
16.4 Zweiphasenströmung in Bodenkolonnen.....	485
16.5 Druckverlust des Gases am Boden	486
16.6 Phasengrenzfläche in der Zweiphasenschicht	488
16.7 Stoffübergang in der Zweiphasenschicht.....	490
16.3 Aufgaben	496
16.4 Literatur.....	498

17 Packungskolonnen.....	499
17.1 Aufbau und Funktionsweise	499
17.2 Fluiddynamik.....	503
17.2.1 Flüssigkeitsinhalt	504
17.2.2 Druckverlust	510
17.3 Belastungsgrenzen, Belastungskennfeld, Arbeitsbereich	514
17.4 Stoffübergang	518
17.5 Axiale Dispersion.....	523
17.6 Aufgaben	524
17.7 Literatur.....	525
18 Mischen und Rühren	527
18.1 Definitionen und Einteilungen	527
18.2 Einphasige Systeme.....	529
18.2.1 Statische Mischer	529
18.2.2 Rühren.....	533
18.2.3 Homogenisieren in Rührgefäßen	546
18.3 Mehrphasensysteme	547
18.3.1 Suspendieren von Feststoffen	547
18.3.2 Begasen	552
18.3.3 Dispergieren von Flüssig/flüssig-Systemen.....	561
18.3 Aufgaben	566
18.4 Literatur.....	568
19 Blasensäulen	571
19.1 Blasensäulen mit und ohne Einbauten	573
19.1.1 Bauarten	573
19.1.2 Fluiddynamik.....	575
19.1.3 Blasengröße und -bewegung.....	577
19.1.4 Dispersion.....	579
19.1.5 Gasgehalt.....	580
19.1.6 Stofftransport.....	582
19.1.7 Wärmeübergang.....	586
19.2 Suspensionsblasensäulen	588
19.3 Airlift-Schlaufenapparate	590
19.4 Abstromblasensäulen	592
19.4.1 Bauarten und Einsatzgebiete.....	593
19.4.2 Betriebsbedingungen und Gasgehalt	594
19.4.3 Stoffübertragung	596
19.5 Modellgleichungen zur Beschreibung von Blasensäulenreaktoren	596
19.6 Anwendungsbereiche	599
19.7 Aufgaben	600
19.8 Literatur.....	603
Sachverzeichnis	605