

# Inhalt

## Teil I Grundlagen

<b>1 Einführung</b> .....	3
1.1 Definitionen .....	3
1.2 Fachorganisationen .....	7
Europa .....	7
Deutschland .....	8
Schweiz .....	9
Österreich .....	9
1.3 Maßeinheiten .....	10
1.4 Periodensystem der Elemente .....	17
1.5 Fragen aus der Praxis .....	19
1.6 Literatur .....	19
<b>2 Projektierung</b> .....	21
2.1 Maßstabsvergrößerung .....	21
Ähnlichkeiten .....	21
Scale-Up Methoden .....	23
Dimensionslose Kenngrößen .....	25
Buckingham $\Pi$ -Theorem .....	27
2.2 Planung von Chemieanlagen .....	31
Blockschema .....	31
Verfahrensfließbild .....	32
RI-Schema .....	34
Anlagenmodell .....	35
Rohrleitungsmodell .....	35
CAD-3D-Grafik .....	36
Isometrische Zeichnung .....	37
2.3 Projektmanagement .....	38
Projektphasen .....	39
Projektorganisation .....	42
2.4 Zeit- und Ressourcenplanung .....	46
Balkendiagramme .....	47

2.5	Netzplandiagramme .....	47
2.5	Zuordnung von Ressourcen .....	51
2.6	Fragen aus der Praxis .....	52
2.6	Literatur .....	53
<b>3</b>	<b>Werkstoffe .....</b>	<b>55</b>
3.1	Mechanische Eigenschaften .....	55
	Festigkeit .....	55
	Kerbschlagzähigkeit .....	60
	Härte .....	61
3.2	Korrosion .....	65
	Definitionen .....	65
	Voraussetzungen .....	66
	Korrosionsarten .....	69
3.3	Korrosionsschutz .....	71
	Werkstoff .....	71
	Beschichtung .....	72
	Konstruktion .....	76
	Elektrischer Strom .....	77
	Medium .....	77
	Werkstoffwahl .....	78
3.4	Eisen & Stahl .....	79
	Herstellung .....	80
	Unlegierter Stahl .....	81
	Legierter Stahl .....	83
	Gusseisen .....	85
3.5	Nicht-Eisenmetalle .....	86
	Leichtmetalle .....	87
	Schwermetalle .....	90
	Sondermetalle .....	94
	Edelmetalle .....	97
3.6	Keramiken .....	99
	Tonkeramik .....	99
	Glas .....	103
	Kunst Kohle & Elektrographit .....	107
3.7	Kunststoffe .....	109
	Thermoplaste .....	113
	Duroplaste .....	119
	Elastomere .....	121
3.8	Naturstoffe .....	126
	Holz .....	126
	Steine .....	127
3.9	Fragen aus der Praxis .....	128
3.10	Literatur .....	128

<b>4 Reaktionstechnik</b> .....	131
4.1 Begriffe .....	131
Homogene und heterogene Reaktionen .....	131
Strömungsführung .....	131
Umsatz, Ausbeute, Selektivität, Leistung, Kapazität .....	134
4.2 Reaktoren .....	135
Rührkessel .....	136
Rohrreaktor .....	137
Kolonne, Säule, Turm .....	138
Wirbelschichtreaktor .....	140
4.3 Stoffbilanzen .....	142
Ideal er diskontinuierlich betriebener Rührkessel .....	147
Ideal er kontinuierlich betriebener Rohrreaktor .....	148
Ideal er kontinuierlich betriebener Rührkessel .....	148
Vergleich der idealisierten Reaktortypen .....	149
4.4 Verweilzeitverteilung .....	150
Rohrreaktor .....	150
Kontinuierlich betriebener Rührkessel .....	150
Rührkesselkaskade .....	152
4.5 Fragen aus der Praxis .....	153
4.6 Literatur .....	154
<b>5 Berechnungen und Antworten zu Teil I</b> .....	155
5.1 Einführung .....	155
5.2 Projektierung .....	156
5.3 Werkstoffe .....	158
5.4 Reaktionstechnik .....	159

## Teil II Ausgleichsvorgänge

<b>6 Strömungslehre</b> .....	163
6.1 Einleitung .....	163
Flüssigkeiten und Gase .....	163
Kontinuitätsgleichung .....	163
Ideale und reale Fluide .....	164
6.2 Strömung ohne Reibung .....	165
Bernoulli .....	165
Torricelli .....	166
6.3 Strömung mit Reibung .....	167
Viskosität, Reibungswiderstand .....	167
Cw-Wert, Wirbelwiderstand .....	169
Laminare und turbulente Strömung .....	171
6.4 Rohrströmung .....	172
Laminare Rohrströmung .....	172
Turbulente Rohrströmung .....	175

Druckabfall im Rohr .....	176
Hydraulischer Durchmesser .....	178
Rohrleitungseinbauten .....	179
Betriebskennlinie, Pumpenkennlinie .....	182
<b>6.5</b>	
Filmströmung .....	185
Strömungsformen .....	185
Geschwindigkeitsprofil .....	185
Volumenstrom .....	187
<b>6.6</b>	
Impulskraft .....	188
<b>6.7</b>	
Rheologie .....	189
Mechanisches Verhalten von Körpern .....	190
Scherratenabhängige Viskosität .....	192
Zeitabhängige Viskosität .....	194
Viskoelastizität .....	195
Messpraxis .....	196
<b>6.8</b>	
Fragen aus der Praxis .....	198
<b>6.9</b>	
Literatur .....	200
<b>7 Wärmeübertragung .....</b>	<b>201</b>
<b>7.1</b>	
Einleitung .....	201
Strahlung .....	201
Wärmeleitung .....	202
Konvektion .....	202
Kombination der Wärmeübertragungsmechanismen .....	203
<b>7.2</b>	
Strahlung .....	203
Strahlungsgesetze .....	203
Wärmestrahlung zwischen Körpern .....	207
<b>7.3</b>	
Wärmeleitung .....	212
Eindimensionaler Stab .....	212
Zusammengesetzte Wand .....	220
Rohrwand .....	221
Dreidimensionaler Körper .....	224
<b>7.4</b>	
Konvektion .....	226
Dimensionslose Kenngrößen .....	229
Ebene Flächen .....	232
Rohre/ Rohrbündel .....	234
Rührkessel .....	238
Kugeln/Schüttsschichten .....	239
<b>7.5</b>	
Wärmedurchgang .....	241
Ebene Wände .....	241
Rohre .....	244
Einfluss der Strömungsführung .....	246

Mittlere treibende Temperaturdifferenz .....	249
Aufheizen/Abkühlen eines Rührkessels .....	250
<b>7.6    Wärmeübertrager .....</b>	<b>252</b>
Bauarten .....	252
Heiz- und Kühlmedien .....	258
Auslegung .....	260
<b>7.7    Fragen aus der Praxis .....</b>	<b>262</b>
<b>7.8    Literatur .....</b>	<b>263</b>
<b>8    Stofftransport .....</b>	<b>265</b>
<b>8.1    Einleitung .....</b>	<b>265</b>
Diffusion .....	265
Konvektion .....	266
Kombination der Stofftransportmechanismen .....	266
<b>8.2    Diffusion .....</b>	<b>267</b>
Eindimensionale Diffusion .....	267
Dreidimensionale Diffusion .....	274
<b>8.3    Konvektion .....</b>	<b>275</b>
Dimensionslose Kenngrößen .....	278
Dimensionslose Gleichungen für den Stoffübergang .....	279
<b>8.4    Stoffdurchgang .....</b>	<b>282</b>
Zweifilmtheorie .....	282
Penetrationstheorie .....	287
Oberflächenerneuerungstheorie .....	288
Mittlere treibende Konzentrationsdifferenz .....	290
<b>8.5    Stofftransport und chemische Reaktion .....</b>	<b>290</b>
Chemische Reaktion an der Phasengrenzfläche .....	291
Chemische Reaktion in der zweiten Phase .....	293
<b>8.6    Stofftransport und Wärmeübertragung .....</b>	<b>296</b>
Dimensionslose Lewis-Beziehung .....	296
Wärme- und Stofftransport beim Trocknen .....	297
<b>8.7    Analogien des Impuls-, Wärme- und Stofftransports .....</b>	<b>299</b>
Transportgleichungen .....	299
Dimensionslose Beziehungen .....	301
Grenzschichten .....	302
<b>8.8    Fragen aus der Praxis .....</b>	<b>304</b>
<b>8.9    Literatur .....</b>	<b>304</b>
<b>9    Berechnungen und Antworten zu Teil II .....</b>	<b>307</b>
<b>9.1    Strömungslehre .....</b>	<b>307</b>
<b>9.2    Wärmeübertragung .....</b>	<b>315</b>
<b>9.3    Stofftransport .....</b>	<b>318</b>

**Teil III Grundoperationen**

<b>10 Mischen, Rühren</b> .....	325
10.1 Einleitung .....	325
Diffusion .....	325
Konvektion .....	325
Dispergierung .....	325
10.2 Rührertypen .....	326
10.3 Strömungsbild .....	326
10.4 Wahl des Rührertyps .....	328
10.5 Leistungsbedarf eines Rührwerks .....	328
10.6 Statische Mischer .....	330
10.7 Fragen aus der Praxis .....	331
10.8 Literatur .....	332
<b>11 Sedimentieren</b> .....	333
11.1 Definition .....	333
11.2 Maßgebende Kräfte .....	333
11.3 Strömung um ein kugelförmiges Teilchen .....	335
11.4 Sinkgeschwindigkeit beliebig geformter Teilchen .....	337
11.5 Sinkgeschwindigkeit eines Teilchenschwärms .....	338
11.6 Auslegung von Sedimentationsapparaten .....	339
11.7 Fragen aus der Praxis .....	340
11.8 Literatur .....	341
<b>12 Filtern</b> .....	343
12.1 Begriffe und Definitionen .....	343
12.2 Mechanismen der Abscheidung .....	345
12.3 Filtermittel .....	345
12.4 Sieb-, Kuchen- und Tiefenfiltration .....	346
12.5 Filterhilfsmittel .....	347
12.6 Vor- und nachgeschaltete Prozesse .....	347
12.7 Filtratfluss als Funktion der Porengröße .....	348
12.8 Kuchenhöhe als Funktion der Filtratmenge .....	350
12.9 Filtergleichungen der Kuchenfiltration .....	350
12.10 Druckabhängigkeit der Filtergleichungen .....	352
12.11 Filterapparate .....	353
Sandfilter .....	354
Papierfilter .....	355
Beutelfilter .....	355
Kerzenfilter .....	355
Filternutschen .....	356
Tellerfilter .....	356
Filterpressen .....	357
Filterzentrifugen .....	359

Trommelfilter . . . . .	361
Bandfilter . . . . .	362
Scheibenfilter . . . . .	363
12.12 Wahl des Filterapparats . . . . .	364
12.13 Fragen aus der Praxis . . . . .	364
12.14 Literatur . . . . .	366
<b>13 Verdampfen . . . . .</b>	<b>367</b>
13.1 Begriffe und Definitionen . . . . .	367
Arbeitsweise einer Verdampfungsstufe . . . . .	367
Dampfarten . . . . .	369
Dampfdruckkurve . . . . .	370
Siedepunkterhöhung durch gelösten Stoff . . . . .	372
13.2 Verdampfungsarten . . . . .	374
Oberflächenverdampfung . . . . .	374
Blasensieden . . . . .	375
Übergangssieden . . . . .	375
Filmsieden . . . . .	376
Verdampfung in einem senkrechten Rohr . . . . .	377
13.3 Verdampferbauarten . . . . .	382
Rührkessel . . . . .	382
Plattenverdampfer . . . . .	382
Dünnsschichtverdampfer . . . . .	382
Kurzwegverdampfer . . . . .	383
Rohrbündelverdampfer . . . . .	383
Brüdenverdichtung . . . . .	384
Mehrstufenverdampfung . . . . .	386
13.4 Fragen aus der Praxis . . . . .	389
13.5 Literatur . . . . .	389
<b>14 Kondensieren . . . . .</b>	<b>391</b>
14.1 Begriffe und Definitionen . . . . .	391
Tropfen- und Filmkondensation . . . . .	391
Wirkung von Inertgasen . . . . .	392
14.2 Wärmeübergang bei Filmkondensation . . . . .	392
Laminare Strömung . . . . .	393
Turbulente Strömung . . . . .	395
Horizontale Rohre . . . . .	396
14.3 Kondensatorbauarten . . . . .	397
Oberflächenkondensatoren . . . . .	397
Mischkondensatoren . . . . .	398
14.4 Fragen aus der Praxis . . . . .	398
14.5 Literatur . . . . .	400

<b>15 Destillation .....</b>	401
15.1 Einleitung .....	401
Prinzip der Destillation .....	401
15.2 Physikalische Grundlagen .....	401
Gesetze von Dalton und Raoult .....	401
Relative Flüchtigkeit .....	404
Dampfdruckdiagramm .....	405
Temperaturdiagramm .....	407
Zusammensetzungsdiagramm .....	409
Reale Mischungen .....	410
Azeotropie .....	413
15.3 Destillationsverfahren .....	415
Absatzweise offene Destillation .....	415
Trägerdampfdestillation .....	418
15.4 Fragen aus der Praxis .....	421
15.5 Literatur .....	422
<b>16 Rektifikation .....</b>	423
16.1 Einleitung .....	423
Prinzip der Rektifikation .....	423
Aufbau einer Rektifikationskolonne .....	424
16.2 Berechnung der theoretischen Stufenzahl .....	426
Gleichgewichtsgerade .....	426
Verstärkungsgerade .....	426
Abtriebsgerade .....	429
Schnittpunktsgerade .....	430
Rücklaufverhältnis .....	432
Trennstufenzahl .....	434
16.3 Einbauten von Rektifikationskolonnen .....	437
Böden .....	437
Füllkörper .....	440
Geordnete Packungen .....	443
16.4 Dimensionierung einer Rektifikationskolonne .....	444
Dampfgeschwindigkeit .....	444
Druckabfall .....	445
Kolonnendurchmesser .....	447
Heizung/Kühlung .....	448
Kurzanleitung des methodischen Vorgehens .....	450
16.5 Sonderfälle der Rektifikation .....	451
Zweidruckrektifikation .....	451
Extraktive Rektifikation .....	451
Azeotrope Rektifikation .....	453
Diskontinuierliche Rektifikation .....	455
Reaktivdestillation .....	456

16.6	Fragen aus der Praxis .....	457
16.7	Literatur .....	458
<b>17</b>	<b>Trocknung .....</b>	<b>459</b>
17.1	Einleitung .....	459
	Prinzip der Trocknung .....	459
	Art der Wärmeübertragung .....	461
17.2	Zustandsänderung des feuchten Guts .....	463
	Feuchtigkeitsbindung .....	463
	Trocknungsverlauf .....	465
17.3	Zustandsänderung der feuchten Luft .....	468
	Eigenschaften der feuchten Luft .....	468
	Heizen/Kühlen .....	471
	Mischen von zwei Luftmassen .....	472
	Mischen von Luft mit Wasser .....	473
	Trocknungsprozesse mit warmer Luft .....	476
17.4	Trocknungsapparate .....	478
	Konvektionstrockner .....	478
	Kontakttrockner .....	483
	Gefriertrockner .....	486
	Auswahl und Auslegung eines Trockners .....	487
	Sicherheit beim Trocknen .....	489
17.5	Fragen aus der Praxis .....	491
17.6	Literatur .....	492
<b>18</b>	<b>Berechnungen und Antworten zu Teil III .....</b>	<b>495</b>
18.1	Mischen, Rühren .....	495
18.2	Sedimentieren .....	496
18.3	Filtrieren .....	497
18.4	Verdampfen .....	501
18.5	Kondensieren .....	503
18.6	Destillation .....	505
18.7	Rektifikation .....	508
18.8	Trocknung .....	511

## Teil IV Regelungstechnik

<b>19</b>	<b>Einleitung in die Regelungstechnik .....</b>	<b>517</b>
19.1	Aufgabe einer Regelung .....	517
19.2	Begriffe und Bezeichnungen .....	517
19.3	Beispiele von Regelungen .....	518
	Watt'scher Fliehkraftregler .....	518
	Abgaskatalysator .....	519
	Temperaturregelung beim Duschen .....	520
19.4	Fragen aus der Praxis .....	521

<b>20 Steuerung und Regelung</b> .....	523
20.1 Wirkungsplan .....	523
Elemente des Wirkungsplans .....	523
Grundstrukturen des Wirkungsplans .....	524
Wirkungswege und Wirkungsabläufe .....	525
20.2 Steuerung .....	526
Stetige und unstetige Steuerung .....	527
Ablaufsteuerung .....	527
Störgrößenaufschaltung .....	527
20.3 Regelung .....	527
Zeitkontinuierliche Regelung und Abtastregelung .....	528
Adaptive Regelung .....	528
Mehrpunktregelung .....	528
Festwertregelung und Folgeregelung .....	529
Selbsttätige Regelung und Handregelung .....	529
Führungsverhalten und Störverhalten .....	529
Detaillierter Regelkreis .....	529
Stelleinrichtung .....	530
Wertebereiche .....	530
20.4 Fragen aus der Praxis .....	531
<b>21 Übertragungsverhalten</b> .....	533
21.1 Beharrungskennlinie .....	533
21.2 Dynamische Eingangsfunktionen .....	534
21.3 Sprungantworten .....	536
Proportionalverhalten .....	536
Verzögerungsverhalten .....	537
Integralverhalten .....	538
Differentialverhalten .....	540
Totzeitverhalten .....	540
Verhaltenskombinationen .....	541
21.4 Frequenzgänge .....	542
Bode-Diagramm .....	544
Nyquist-Ortskurve .....	545
21.5 Fragen aus der Praxis .....	546
<b>22 Reglertypen</b> .....	549
22.1 Stetige Regler .....	550
P-Regler .....	550
I-Regler .....	551
PI-Regler .....	552
D-Regler .....	552
PD-Regler .....	553
PID-Regler .....	554

22.2	Unstetige Regler .....	554
	Zweipunktregler .....	554
	Dreipunktregler .....	556
22.3	Fragen aus der Praxis .....	557
<b>23</b>	<b>Regelgüte .....</b>	<b>559</b>
23.1	Führungsverhalten .....	559
23.2	Störverhalten .....	560
23.3	Bewertung der Regelgüte .....	561
23.4	Bewertung der Regelbarkeit .....	564
23.5	Fragen aus der Praxis .....	566
<b>24</b>	<b>Einstellregeln für industrielle Regler .....</b>	<b>569</b>
24.1	Ziegler-Nichols .....	570
24.2	Chien-Hrones-Reswick .....	570
24.3	T-Summen-Regel .....	571
24.4	Fragen aus der Praxis .....	573
<b>25</b>	<b>Komplexe Regelsysteme .....</b>	<b>575</b>
25.1	Split-Range-Regelung .....	575
25.2	Kaskadenregelung .....	576
25.3	Verhältnisregelung .....	578
25.4	Fragen aus der Praxis .....	580
<b>26</b>	<b>Prozessleittechnik .....</b>	<b>581</b>
26.1	Entwicklung der Prozessleittechnik .....	581
26.2	Aufbau eines Prozessleitsystems .....	582
26.3	Funktionen eines Prozessleitsystems .....	584
26.4	Darstellungen im Prozessleitsystem .....	586
26.5	Sicherheit computergesteuerter Anlagen .....	587
	Erläuterung von Sicherheitsbegriffen .....	588
26.6	Fragen aus der Praxis .....	589
<b>27</b>	<b>Berechnungen und Antworten zu Teil IV .....</b>	<b>591</b>
27.1	Einleitung .....	591
27.2	Steuerung und Regelung .....	592
27.3	Übertragungsverhalten .....	594
27.4	Reglertypen .....	597
27.5	Regelgüte .....	600
27.6	Einstellmethoden für industrielle Regler .....	602
27.7	Komplexe Regelsysteme .....	605
27.8	Prozessleittechnik .....	607
	<b>Literatur zur Regelungstechnik .....</b>	<b>609</b>
	<b>Sachverzeichnis .....</b>	<b>611</b>