

Inhaltsverzeichnis

1	Rechnen und Datenauswertung in der Chemietechnik	8	2.6	Lagereinrichtungen	49
1.1	Genauigkeit beim Rechnen	8	2.6.1	Volumen geometrischer Körper	49
1.1.1	Signifikante Ziffern	8	2.6.2	Volumen zusammengesetzter Körper	49
1.1.2	Runden	8	2.6.3	Berechnung der Masse eingelagerter Feststoffe und Flüssigkeiten	50
1.1.3	Anzahl der Nachkommastellen	9	2.6.4	Berechnung der Gasmenge in Tanks	50
1.1.4	Rechnen mit Messwerten mit angebener Ungenauigkeit	10	2.7	Rührbehälter	52
1.2	Erstellen und Arbeiten mit Diagrammen	11	2.7.1	Inhalte von Rührbehältern	52
1.2.1	Erstellen von Diagrammen per Hand	11	2.7.2	Thermische Volumenausdehnung bei Behältern	52
1.2.2	Diagramme mit logarithmischer Teilung	11	2.8	Projektierung von Chemieapparaten	53
1.2.3	Diagramme mit doppelt-logarithmischer Teilung	12	2.9	Druckarten und Druckkräfte in Behältern	56
1.2.4	Erstellen von Ausgleichskurven	12	2.10	Elektromotoren	57
1.3	Prozessdatenauswertung mit dem PC	14	2.11	Getriebe	59
1.3.1	Datenauswertung mit einem Tabellenkalkulationsprogramm	14	2.12	Mechanische Belastung von Bauteilen und Apparaten	61
1.3.2	Grafische Darstellung von Prozessdaten mit Excel 2010	16	2.12.1	Spannungen in Bauteilen	61
1.3.3	Regressionsanalyse von Messreihen mit Excel 2010	19	2.12.2	Festigkeitskennwerte der Werkstoffe	62
1.3.4	Grafische Darstellung der Regressionsanalyse	21	2.12.3	Festigkeitskennwerte von Schrauben	63
1.3.5	Regressionsanalyse und Prüfen der Funktionsabhängigkeit	22	2.12.4	Zulässige Spannung in Bauteilen	63
			2.12.5	Auslegung von Bauteilen (Dimensionsierung)	63
2	Berechnungen zu Anlagenkomponenten	24	3	Berechnungen zur Messtechnik	66
2.1	Rohrleitungen	24	3.1	Temperaturmessung	66
2.1.1	Stoffströme in Rohrleitungen	24	3.1.1	Widerstandsthermometer	66
2.1.2	Rohrabschätzungen	25	3.1.2	Thermoelement-Thermometer	67
2.1.3	Nenndruck, Mindest-Wanddicke	26	3.2	Druckmessung	68
2.1.4	Masse von Stahlrohren	27	3.2.1	Definition, Einheiten, Umrechnung	68
2.1.5	Rohrausdehnung und Kompensatoren	28	3.2.2	Druckarten	68
2.1.6	Regelventile	29	3.2.3	Druckmessung in Behältern und Apparaten	68
2.1.7	Kondensatableiter	31	3.2.4	Druckmessung in strömenden Medien	69
2.1.8	Druck in Rohrleitungen	32	3.2.5	U-Rohr-Manometer	70
2.1.9	Strömungszustände in Rohrleitungen	33	3.2.6	Druckdifferenzmessung mit dem U-Rohr-Manometer	70
2.1.10	Druckverlust in Rohrleitungen	34	3.2.7	Federmanometer	71
2.2	Fördern von Flüssigkeiten mit Pumpen	36	3.2.8	Druckmessung mit DMS-Sensoren	71
2.2.1	Fördern mit Kreiselpumpen	36	3.3	Füllstandmessung	73
2.2.2	Kavitationsfreier Betrieb von Kreiselpumpen, NPSH-Wert	40	3.3.1	Volumen geometrischer Grundkörper von Behältern	73
2.2.3	Fördern mit Kreiskolbenpumpen und Drehkolbenpumpen	42	3.3.2	Füllstände und Füllvolumen in Behältern	73
2.3	Fördern von Flüssigkeiten mit Schwerkraft und Druck	43	3.3.3	Füllstandmessung bei Flüssigkeiten	75
2.3.1	Ausfluss aus Behältern unter Schwerkraft	43	3.3.4	Füllstandmessung bei Schüttgütern	76
2.3.2	Ausfluss aus Behältern mit Überdruck	44	3.4	Durchflussmessung und Mengenmessung	79
2.4	Verdichten und Fördern von Gasen	45	3.4.1	Quantitätsgrößen bei Durchflüssen	79
2.5	Fördern von Feststoffen	47	3.4.2	Durchflussmessung	79
			3.4.3	Mengenmessung bei strömenden Fluiden	81

4	Datenauswertung und Berechnungen zur Qualitätssicherung	84	5.4.2	Leistungsbedarf einer Zerkleinerungsmaschine	128
4.1	Statistische Kennwerte	84	5.5	Rühren und Mischen im Rührbehälter	129
4.1.1	Kennwerte zur mittleren Lage von Messwerten		5.5.1	Rühren und Mischen	129
4.1.2	Häufigkeitsverteilung von Messdaten	85	5.5.2	Beschreibung des Mischvorgangs	129
4.1.3	Kennwerte zur Streuung von Messwerten	86	5.5.3	Leistungsbedarf eines Rührers	130
4.1.4	Standardabweichung und Häufigkeit der Messwerte	87	5.5.4	Mischzeit	130
4.1.5	Auswertung mit dem Taschenrechner und dem Computer	88	6	Berechnungen zu mechanischen Trennverfahren	132
4.2	Werkzeuge der Qualitätssicherung	89	6.1	Kennzeichnung der Trennprozesse beim Klassieren und Sortieren	132
4.2.1	Fehlersammelkarte und Datensammelkarte	89	6.2	Klassieren mit Siebmaschinen	136
4.2.2	Histogramm (Säulendiagramm)	90	6.3	Dekantieren	137
4.2.3	Pareto-Diagramm, Pareto-Analyse	91	6.4	Sedimentieren	138
4.2.4	Korrelationsdiagramm	93	6.4.1	Vorgänge beim Sedimentieren	138
4.3	Qualitätssicherung mit Qualitätsregelkarten (QRK)	95	6.4.2	Absetzapparate	138
4.3.1	Aufbau und Typen von QRK	95	6.5	Zentrifugieren mit Sedimentierzentrifügen	140
4.3.2	Prozess-QRK mit festen Regelgrenzen	97	6.6	Staubabscheidung mit dem Zyklon	142
4.3.3	Erstellen und Führen von QRK	100	6.6.1	Vorgänge im Zyklon	142
4.3.4	Erstellen von Qualitätsregelkarten mit Excel	102	6.6.2	Berechnungen beim Zyklon	142
4.3.5	Prozess-QRK mit variablen Regelgrenzen	104	6.6.3	Druckverlust, Abscheidegrad	143
4.4	Prüfung der Prozessfähigkeit	106	6.7	Filtrieren	144
4.5	Typische Verläufe in Qualitätsregelkarten	109	6.7.1	Vorgänge beim Filtrieren	144
6.7.2	Absatzweise Filtration	146			
6.7.3	Kontinuierliche Filtration	146			
5	Berechnungen zur Aufbereitungstechnik	112	7	Berechnungen zur Heiz- und Kühltechnik	148
5.1	Schüttgüter	112	7.1	Wärmemengen	148
5.1.1	Porosität, Schüttdichte, Partikelgröße	112	7.2	Energieträger im Chemiebetrieb	148
5.1.2	Oberflächen von Schüttgütern	113	7.3	Wärmeübertragung in der Chemietechnik	149
5.2	Bestimmung der Partikelgrößenverteilung von Schüttgütern	114	7.3.1	Grundlagen der Wärmeübertragung	149
5.2.1	Durchführung einer Siebanalyse	114	7.3.2	Wärmeleitung	149
5.2.2	Auswertung einer Siebanalyse	114	7.3.3	Wärmedurchgang	151
5.2.3	Grafische Darstellung der Siebanalyse	115	7.3.4	Berechnung von Wärmedurchgangszahlen k	152
5.2.4	Darstellung und Auswertung einer Siebanalyse im RRSB-Netz	117	7.3.5	Mittlere Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta_m$ beim Wärmedurchgang	153
5.2.5	Bestimmung der spezifischen Oberfläche von Schüttgütern	119	7.4	Wärmeübertragung mit Rohrbündelwärmetauschern	155
5.2.6	Auswertung einer Siebanalyse mit einem Tabellenkalkulationsprogramm (TKP)	120	7.5	Wärmeleitung in Kondensatoren	157
5.2.6.1	Datenauswertung mit dem TKP Excel	120	7.5.1	Oberflächenkondensatoren	157
5.2.6.2	Grafische Darstellung mit dem TKP Excel	122	7.5.2	Mischkondensatoren	157
5.3	Charakterisierung eines Schüttguts	124	7.6	Wärmeübertragung in Rührbehältern	158
5.3.1	Verteilungsdiagramme	124	7.6.1	Indirektes Heizen und Kühlen	158
5.3.2	Beschreibung eines Schüttguts	124	7.6.2	Direkte Heizung und direkte Kühlung in Rührbehältern	159
5.4	Zerkleinern	127			
5.4.1	Beschreibung der Zerkleinerung	127			

8	Berechnungen zu thermischen Trennverfahren	160	9.2.1	Berechnung der absorbierten Stoffmenge	203
8.1	Industrielles Trocknen	160	9.2.2	Gegenstrom-Absorption in Kolonnen ..	204
8.1.1	Massebilanzen beim Trocknen	160			
8.1.2	Trocknungsmittel Luft	161			
8.1.3	Luftbedarf beim Trocknen	162	10	Berechnungen zur Regelungstechnik ..	206
8.1.4	<i>h-X</i> -Diagramm	163	10.1	Elemente des Regelkreises	206
8.1.5	Wärmebedarf beim Trocknen	163	10.1.1	Regelstrecke und Regeleinrichtung	207
8.2	Eindampfen von Lösungen	166	10.1.2	Regler	207
8.2.1	Siedepunkterhöhung bei Lösungen	166	10.1.3	Messumformer	208
8.2.2	Kontinuierliche Eindampfung	166	10.2	Zwischenwerte des Einheitssignals ..	208
8.2.3	Absatzweise Eindampfung	168	10.3	Zeitverhalten von Regelstrecken	210
8.3	Kristallisieren aus Lösungen	169	10.3.1	Statisches Verhalten	210
8.4	Destillation	171	10.3.2	Dynamisches Verhalten	210
8.4.1	Physikalische Grundlagen der Destillation	171	10.3.3	Proportionale Regelstrecken	211
8.4.1.1	Dampfdruck von Flüssigkeiten	171	10.3.4	Regelstrecken mit Totzeit	212
8.4.1.2	Siedeverhalten homogener Flüssigkeitsgemische	171	10.3.5	Regelstrecken mit einem Speicher	212
8.4.1.3	Siedediagramm	174	10.3.6	Regelstrecken mit mehreren Speichern	213
8.4.1.4	Gleichgewichtsdiagramm	174	10.3.7	Integrale Regelstrecken	214
8.4.1.5	Destillationsverhalten verschiedener Flüssigkeitsgemische	175	10.4	Reglertypen	216
8.4.1.6	Relative Flüchtigkeit (Trennfaktor)	175	10.4.1	Proportionalregler	216
8.4.2	Absatzweise einfache Destillation	177	10.4.2	Integralregler	218
8.5	Wasser dampfdestillation	179	10.4.3	Differentialregler	218
8.5.1	Physikalisches Prinzip der Wasser dampfdestillation	179	10.4.4	Proportional-Integral-Regler	219
8.5.2	Erforderliche Dampfmenge	180	10.4.5	Proportional-Differential-Regler (PD-Regler)	220
8.6	Rektifikation	181	10.4.6	Proportional-Differential-Integral-Regler (PID-Regler)	220
8.6.1	Kontinuierliche Rektifikation in Kolonnen mit Austauschböden	181	10.5	Regelkreisverhalten und Regleranpassung	222
8.6.2	Stoffbilanz in der Kolonne	181	10.5.1	Regelkreisverhalten	222
8.6.3	Rücklaufverhältnis	182	10.5.2	Anpassung des Reglers an die Regelstrecke	223
8.6.4	Bestimmung der Trennstufen einer Rektifikationskolonne	182			
8.6.5	Rektifikationskolonne mit mittigem Zulauf	184			
8.6.6	Rektifikation mit Füllkörper- und Packungskolonnen	187	11	Lösen von Aufgaben aus der Steuerungstechnik	225
8.6.7	Kolonnendurchmesser und Kolonnenhöhe	188	11.1	Logische Grundverknüpfungen	225
8.6.8	Rektifikation azeotroper Gemische	190	11.2	Zusammengesetzte logische Verknüpfungen	228
8.6.8.1	Zweidruck-Rektifikation	191	11.2.1	Verknüpfungen mit Eingangsnegation ..	228
8.6.8.2	Extraktiv-Rektifikation	192	11.2.2	Verknüpfungen mit Ausgangsnegation ..	229
9	Berechnungen zu physikalisch-chemischen Trennverfahren	194	11.2.3	Realisierung zusammengesetzter logischer Verknüpfungen	230
9.1	Flüssig-Flüssig-Extraktion	194	11.3	Rechenregeln der Schaltalgebra	233
9.1.1	Absatzweise einfache Extraktion	194	11.4	Speicher-Funktionsbausteine	236
9.1.2	Absatzweise mehrfache Extraktion	196	11.4.1	Signalspeicherung durch Selbsthaltungsschaltung	236
9.1.3	Kontinuierliche Gegenstrom-Extraktion	197	11.4.2	Signalspeicherung durch Kippglieder ..	236
9.2	Absorption	202	11.4.3	Anwendungen von Flipflop-Schaltungen in der Chemietechnik	237

12	Berechnungen zur chemischen Reaktionstechnik	240	13.6	Aufgaben zu Kapitel 6 Mechanische Trennverfahren	263
12.1	Umgesetzte Stoffmengen in Reaktoren	240	13.7	Aufgaben zu Kapitel 7 Heiz- und Kühltechnik	264
12.1.1	Quantitätsgrößen und Durchsatzgrößen	240	13.8	Aufgaben zu Kapitel 8 Thermische Trennverfahren	265
12.1.2	Umgesetzte Stoffmengen bei vollständiger Reaktion mit reinen Stoffen	240	13.9	Aufgaben zu Kapitel 9 Physikalisch-chemische Trennverfahren	266
12.1.3	Umgesetzte Stoffmengen bei Reaktion mit verdünnten bzw. unreinen Stoffen	241	13.10	Aufgaben zu Kapitel 10 Regelungstechnik	267
12.1.4	Umgesetzte Stoffmengen bei unvollständigen Reaktionen	241	13.11	Aufgaben zu Kapitel 11 Steuerungstechnik	268
12.2	Kenngrößen der Reaktionsabläufe in Reaktoren	242	13.12	Aufgaben zu Kapitel 12 Chemische Reaktionstechnik	268
12.2.1	Umsatz	242			
12.2.2	Ausbeute (Bildungsgrad)	243			
12.2.3	Selektivität	244			
12.2.4	Verweilzeit	244			
12.2.5	Produktionsleistung	244			
12.3	Zeitlicher Ablauf chemischer Reaktionen	246	14	Themenübergreifende Projektaufgaben	270
12.4	Beeinflussung der Reaktionsgeschwindigkeit	247		Projektaufgabe 1	270
12.5	Chemisches Reaktionsgleichgewicht, Massenwirkungsgesetz	249		Projektaufgabe 2	272
12.6	Reaktionsenthalpie	250	15	Anhang	276
12.7	Betriebsweisen und Reaktortypen in der chemischen Produktion	252		Griechisches Alphabet	276
12.7.1	Chargenbetrieb im Rührkesselreaktor	252		Physikalische Konstanten	276
12.7.2	Fließbetrieb im Rohrreaktor	253		Hinweis zu den Normen	276
12.7.3	Fließbetrieb im kontinuierlich betriebenen Rührkessel	254		Kopiervorlagen	277
12.7.4	Kontinuierlich betriebene Rührkesselkaskade	255		Millimeter-Papier, Einfach-Logarithmisches Papier, Doppelt-Logarithmisches Papier, Qualitätsregelkarte, Vordruck Siebanalyse, Verteilungs-Diagramme, RRSB-Netz für die Siebanalyse, <i>h-X</i> -Diagramm für Trocknungsluft, Gleichgewichtsdiagramm Rektifikation, Beladungsdiagramm Extraktion, Beladungsdiagramm Absorption, Sprungantwort (Regelungstechnik)	
12.7.5	Reaktor mit Kreislaufführung	256			
13	Gemischte Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung	258		Sachwortverzeichnis	290
13.1	Aufgaben zu Kapitel 1 Rechnen und Datenauswertung in der Chemietechnik	258			
13.2	Aufgaben zu Kapitel 2 Anlagenkomponenten	259			
13.3	Aufgaben zu Kapitel 3 Messtechnik in Chemieanlagen	261			
13.4	Aufgaben zu Kapitel 4 Datenauswertung und Berechnungen zur Qualitäts sicherung	262			
13.5	Aufgaben zu Kapitel 5 Aufbereitungstechnik	262			