

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>XI</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>XIII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Excel mit VBA für verfahrenstechnische Anwendungen</b>	<b>3</b>
2.1 Einrichten von Berechnungsblättern in Excel . . . . .	4
2.2 Grundlagen und Tipps zu VBA . . . . .	7
2.3 Anwendungsbeispiele mit VBA . . . . .	15
2.3.1 Addition über eine Schaltfläche . . . . .	15
2.3.2 Makros aufzeichnen und Befehle daraus verwenden . . . . .	17
2.3.3 Berechnungen mit Schleifen . . . . .	18
2.4 Anwendung des Solvers . . . . .	22
2.5 Anwendung benutzerdefinierter Funktionen . . . . .	24
2.5.1 Berechnung des Widerstandsbeiwerts . . . . .	24
2.5.2 Berechnung des Sättigungsdampfdrucks und der Sättigungs- temperatur . . . . .	25
2.5.3 Berechnung der Dichte eines idealen und eines realen Gases . . . . .	30
2.5.4 Berechnung der spezifischen Verdampfungsenthalpie . . . . .	37
2.5.5 Kurzbeschreibungen zu benutzerdefinierten Funktionen . . . . .	39
2.6 Erstellung von Add-Ins . . . . .	41
2.7 Ermittlung von Ausgleichsfunktionen . . . . .	42
2.7.1 Nichtlineare Regression unter Verwendung des Solvers . . . . .	42
2.7.2 Polynomregression unter Verwendung einer benutzerdefinierten Funktion . . . . .	44
2.8 Nullstellensuche mit dem ZDQ-Verfahren . . . . .	49
2.9 Anwendung von Zirkelbezügen . . . . .	55
2.10 Ausgewählte Arbeitsblattfunktionen . . . . .	58
2.10.1 WENN-Funktion . . . . .	58
2.10.2 RGP-Funktion . . . . .	58
<b>3 Thermodynamik der Gemische</b>	<b>61</b>
3.1 Einführung . . . . .	62
3.2 Phasengleichgewichts-Beziehungen . . . . .	62
3.3 Berechnung von Dampf-Flüssig-Gleichgewichten . . . . .	63
3.4 Dampf-Flüssig-Gleichgewichte idealer Zweistoffgemische . . . . .	68
3.4.1 Dampfdruckdiagramm . . . . .	68

3.4.2	Siedediagramm . . . . .	69
3.4.3	Gleichgewichtsdiagramm . . . . .	70
3.4.4	Berechnung der Diagramme . . . . .	71
3.4.5	Zustände eines binären Dampf-Flüssig-Gemisches . . . . .	74
3.5	Stationäre Verdampfung oder Kondensation (Flash) . . . . .	76
3.5.1	Berechnung des Siedezustands eines Gemisches . . . . .	78
3.5.2	Berechnung des Tauzustands eines Gemisches . . . . .	79
3.5.3	Partielle Verdampfung eines Flüssigkeitsgemisches ( $p$ - $T$ -Flash) . . . . .	81
3.6	Berechnung von Flüssig-Flüssig-Gleichgewichten . . . . .	86
3.7	Thermische Zustandsgleichungen . . . . .	88
3.8	$G^E$ - oder $\gamma_i$ -Modelle . . . . .	88
3.8.1	Dampf-Flüssig-Gleichgewichte realer Zwei- und Dreistoffgemische . . . . .	89
3.8.2	Flüssig-Flüssig-Gleichgewichte realer Dreistoffgemische . . . . .	101
3.9	Datenbanken . . . . .	106
<b>4</b>	<b>Batch-Destillation, Batch-Rektifikation</b>	<b>107</b>
4.1	Einführung, Grundbegriffe . . . . .	108
4.2	Batch-Destillation eines idealen binären Gemisches . . . . .	110
4.3	Batch-Destillation eines realen binären Gemisches . . . . .	113
4.4	Simulation der Batch-Destillation eines realen binären Gemisches . . . . .	115
4.5	Batch-Rektifikation eines realen binären Gemisches . . . . .	127
4.5.1	Konstantes Rücklaufverhältnis . . . . .	130
4.5.2	Konstante Zusammensetzung des Destillats . . . . .	135
<b>5</b>	<b>Flüssig-Flüssig-Extraktion</b>	<b>139</b>
5.1	Einführung, Grundbegriffe . . . . .	139
5.2	Gegenstromextraktion im Beladungsdiagramm . . . . .	144
<b>6</b>	<b>Absorption</b>	<b>155</b>
6.1	Einführung, Grundbegriffe . . . . .	155
6.2	Gleichgewichte von Gas-Flüssig-Systemen . . . . .	157
6.3	Absorption im Beladungsdiagramm . . . . .	160
6.4	Regeneration der Waschflüssigkeit durch Strippen, Desorption . . . . .	173
<b>7</b>	<b>Auslegung von Packungskolonnen</b>	<b>179</b>
7.1	Einführung . . . . .	179
7.2	Fluidodynamik von Packungskolonnen . . . . .	180
7.2.1	Zweiphasenströmung in Packungskolonnen . . . . .	180
7.2.2	Druckverlust sowie Stau- und Flutgrenze in Packungskolonnen . . . . .	182
7.2.3	Fluiddynamische Auslegung einer Füllkörperkolonne für die Absorption . . . . .	192
7.3	Stofftransport in Packungskolonnen auf Basis der Zweifilmtheorie . . . . .	196
7.4	Bestimmung der Höhe von Packungskolonnen . . . . .	200
7.4.1	Konzept der theoretischen Trennstufen (HETP-Konzept) . . . . .	200
7.4.2	Konzept der Übergangseinheiten (HTU-NTU-Konzept) . . . . .	201

7.4.3	Auslegung einer Füllkörperkolonne für die Absorption nach dem HTU-NTU-Konzept . . . . .	206
7.4.4	Boden-zu-Boden-Berechnung . . . . .	211
<b>8</b>	<b>Rektifikation</b>	<b>213</b>
8.1	Einführung, Grundbegriffe . . . . .	213
8.2	Grundlagen für die Aufstellung der Energiebilanzen . . . . .	215
8.3	Kontinuierliche Rektifikation, Aufstellung der Bilanzgleichungen . . . . .	222
8.3.1	Stoffmengen- und Energiebilanzen bei der Rektifikation . . . . .	222
8.3.2	Ermittlung der Bilanzgeraden . . . . .	224
8.4	Stufenkonstruktion, Wärmeströme, Kolonnenprofile . . . . .	230
8.4.1	Stufenkonstruktion und theoretische Stufenzahl . . . . .	231
8.4.2	Berechnung des Feedzustands und der Wärmeströme . . . . .	239
8.4.3	Berechnung der Temperatur- und Konzentrationsprofile . . . . .	246
8.5	Rektifikation eines realen Zweistoffgemisches . . . . .	247
<b>9</b>	<b>Zustände feuchter Luft und Trocknungsprozesse im <math>h, X</math>-Diagramm</b>	<b>253</b>
9.1	Thermodynamische Grundbegriffe und Berechnungsgrundlagen . . . . .	254
9.1.1	Gas-Dampf-Gemische, feuchte Luft, Phasengrenzkurven . . . . .	254
9.1.2	Absolute und relative Feuchte, Wasserbeladung . . . . .	261
9.1.3	Spezifisches Volumen feuchter Luft . . . . .	262
9.1.4	Spezifische Enthalpie feuchter Luft . . . . .	263
9.2	Konstruktion des $h, X$ -Diagramms für feuchte Luft . . . . .	266
9.3	Berechnung der Zustandsgrößen feuchter Luft . . . . .	274
9.4	Berechnungen auf Basis der psychrometrischen Temperaturdifferenz . . . . .	280
9.5	Abkühlung feuchter Luft mit Kondensatabscheidung . . . . .	283
9.6	Mischung zweier ungesättigter feuchter Luftströme . . . . .	287
9.7	Befeuchtung ungesättigter feuchter Luft . . . . .	290
9.8	Einstufiger Trocknungsprozess . . . . .	294
9.9	Zweistufiger Trocknungsprozess . . . . .	298
9.10	Trocknungsprozess mit Umluftführung . . . . .	301
9.11	Luft- und Energiebedarfe für den einstufigen Trocknungsprozess . . . . .	304
<b>10</b>	<b>Förderung inkompressibler Fluide</b>	<b>307</b>
10.1	Einführung . . . . .	307
10.2	Erweiterte BERNOULLI-Gleichung . . . . .	308
10.3	Druckverlust in Rohrleitungssystemen . . . . .	311
10.4	Berechnung des Druckverlustes für innendurchströmte Rohre . . . . .	312
10.5	Förderhöhe einer Anlage . . . . .	318
10.6	Förderhöhe einer Kreiselpumpe, Pumpenkennlinie . . . . .	320
10.7	Betriebsverhalten von Kreiselpumpen . . . . .	321
10.8	Betriebspunkt einer Kreiselpumpe . . . . .	325
10.9	Auslegung einer Anlage zur Flüssigkeitsförderung . . . . .	327
10.10	Serien- und Parallelbetrieb von Kreiselpumpen . . . . .	331

---

<b>11 Partikelsysteme</b>	<b>333</b>
11.1 Einführung, disperse Systeme . . . . .	333
11.2 Kennzeichnung von Partikeln, Partikelmerkmale . . . . .	334
11.3 Stationäre Sinkgeschwindigkeit kugelförmiger Einzelpartikel . . . . .	335
11.4 Partikelgrößenverteilungen . . . . .	343
11.5 Partikel-Verteilungsfunktionen . . . . .	346
11.6 Auswertung einer Siebanalyse . . . . .	348
<b>A Definition und Umrechnung von Konzentrationsmaßen</b>	<b>357</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>359</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>363</b>
<b>Listingsverzeichnis</b>	<b>365</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>367</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>375</b>