



EUROPA-FACHBUCHREIHE  
für Chemieberufe

# Lösungsbuch – Berechnungen zur Chemietechnik

**Dr. Eckhard Ignatowitz · Gerhard Fastert · Holger Rapp**

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG  
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

**Europa-Nr.: 71484**

Autoren:

Dr. Eckhard Ignatowitz, Dipl.-Ing., Dr.-Ing., StR    Waldbronn

Gerhard Fastert, Gew. Lehrer, OStR †                Stade

Holger Rapp, Dipl.-Ing., Dipl. Wirt.-Ing.            Waldbronn

Leitung des Arbeitskreises und Lektorat:

Dr. Eckhard Ignatowitz

Bildentwürfe:

Die Autoren

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

Foto des Buchtitelbildes:

Mit freundlicher Genehmigung der Lanxess AG, Köln

1. Auflage 2014, korrigierter Nachdruck 2017

Druck 5 4 3

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Behebung von Druckfehlern untereinander unverändert sind.

**ISBN 978-3-8085-7148-4**

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2014 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten

Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, Radevormwald

Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, Erfstadt

Druck: Konrad Tritsch Print und digitale Medien GmbH, 97199 Ochsenfurt-Hohestadt

## Vorwort

Das LÖSUNGSBUCH zum Lehrbuch BERECHNUNGEN ZUR CHEMIETECHNIK bietet Lösungsvorschläge zu den Aufgaben im Lehrbuch BERECHNUNGEN ZUR CHEMIETECHNIK.

Im Text der Aufgaben und Lösungen wird es kurz Lehrbuch genannt.

Für viele Aufgaben aus der Chemietechnik gibt es unterschiedliche Lösungswege und Lösungsmöglichkeiten.

Im vorliegenden LÖSUNGSBUCH ist eine mögliche Lösung vorgestellt. Andere Lösungswege sind möglich und können ebenso richtig sein. Bei gleichen Voraussetzungen sollten die erhaltenen Lösungen identisch sein.

Die Lösungsvorschläge sind im LÖSUNGSBUCH in derselben Reihenfolge wie die Aufgaben im Lehrbuch BERECHNUNGEN ZUR CHEMIETECHNIK angeordnet.

Die Zahlenwerte der Lösungen sind im LÖSUNGSBUCH in der Regel mit dem Taschenrechner berechnet und auf die signifikante Ziffernzahl gerundet.

Die Technik des Rundens sowie die Beschränkung auf die signifikante Ziffernzahl wird im Lehrbuch (Seite 8) ausführlich behandelt.

Beim Zeichnen von Diagrammen als Bestandteil der Lösung werden bevorzugt die im Anhang des Lehrbuchs, Seite 277 bis 288, angebotenen Kopiervorlagen eingesetzt. Andere Formate der Diagramme sind möglich.

Im Kapitel 1 des Lehrbuchs (Seite 16 und folgende) wird das Rechnen und Auswerten von Daten sowie das Erstellen von Kurven und Diagrammen mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel 2010 eingeführt und in einigen Kapiteln mit großen Datenmengen angewandt und vertieft.

Dort sind auch viele Aufgaben gestellt, bei denen eine Lösung mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel 2010 gefordert wird.

Im LÖSUNGSBUCH werden die Lösungen dieser Aufgaben mit Excel 2010 präsentiert. Dabei werden die mit Excel 2010 erstellten Lösungen anhand der Monitorbilder (englisch: screen shots) des Tabellenkalkulationsprogramm Excel 2010 dargestellt.

Das LÖSUNGSBUCH hat ein ausführliches Inhaltsverzeichnis (Seite 4 bis 6). Es ermöglicht einen raschen Überblick über die Kapitel des Buchs.

Das Auffinden des Lösungsvorschlags einer bestimmten Aufgabe aus dem Buch BERECHNUNGEN ZUR CHEMISCHEN TECHNIK ist mit dem Inhaltsverzeichnis und mit den Seitenhinweisen zum Lehrbuch im LÖSUNGSBUCH leicht möglich.

Die Kapitelnummern sind in Großschrift auf jeder Seite gedruckt und durch eine graue Unterlegung gut sichtbar markiert. Durch Blättern mit dem Daumen kann das gesuchte Kapitel und die gesuchte Seite leicht gefunden werden. Näheres dazu auf Seite 6.

Bei einem so umfangreichen Buch wie dem LÖSUNGSBUCH sind Fehler in der Erstellung und Drucklegung nie ganz zu vermeiden. Die Autoren sind jedem Leser dankbar, der durch Hinweise auf Fehler und Verbesserungsvorschläge zur Weiterentwicklung des Buchs beiträgt.

Ihre Vorschläge richten Sie bitte an [lektorat@europa-lehrmittel.de](mailto:lektorat@europa-lehrmittel.de).

Sommer 2014

Die Autoren

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Rechnen und Datenauswertung in der Chemietechnik</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>Berechnungen zur Messtechnik</b>	<b>47</b>
1.1	Genauigkeit beim Rechnen	7	3.1	Temperaturmessung	47
1.2	Erstellen und Arbeiten mit Diagrammen	7	3.2	Druckmessung	48
1.3	Prozessdatenauswertung mit dem PC	10	3.3	Füllstandmessung	50
1.3.1	Datenauswertung mit einem Tabellenkalkulationsprogramm	10	3.4	Durchfluss- und Mengenmessung	57
1.3.2	Grafische Darstellung von Prozessdaten mit Excel 2010	11	<b>4</b>	<b>Datenauswertung und Berechnungen zur Qualitätssicherung</b>	<b>61</b>
1.3.3	Regressionsanalyse von Messreihen mit Excel 2010	13	4.1	Statistische Kennwerte	61
<b>2</b>	<b>Berechnungen zu Anlagenkomponenten</b>	<b>17</b>	4.2	Werkzeuge der Qualitätssicherung	63
2.1	Rohrleitungen	17	4.2.1 und 4.2.2	Fehler- und Datensammelkarte, Histogramm	63
2.1.1	Stoffströme in Rohrleitungen	17	4.2.3	Pareto-Diagramm, Pareto-Analyse	66
2.1.2	Rohrabmessungen	18	4.2.4	Korrelationsdiagramm	68
2.1.3	Nenndruck, Mindestwanddicke	19	4.3	Qualitätssicherung mit Qualitätsregelkarten (QRK)	69
2.1.4	Masse von Stahlrohren	19	4.3.2	Prozess-QRK mit festen Regelgrenzen	69
2.1.5	Rohrausdehnung und Kompensatoren	19	4.3.3	Erstellen und Führen von QRK	71
2.1.6	Regelventile	20	4.3.4	Erstellen von QRK mit einem Tabellenkalkulationsprogramm	74
2.1.7	Kondensatableiter	21	4.3.5	Prozess-QRK mit variablen Regelgrenzen	77
2.1.8	Druck in Rohrleitungen	21	4.4	Prüfung der Prozessfähigkeit	87
2.1.9	Strömungszustände in Rohrleitungen	22	4.5	Typische Verläufe in Qualitätsregelkarten	93
2.1.10	Druckverlust in Rohrleitungen	23	<b>5</b>	<b>Berechnungen zur Aufbereitungstechnik</b>	<b>98</b>
2.2	Fördern von Flüssigkeiten mit Pumpen	25	5.1	Schüttgüter	98
2.2.1	Fördern mit Kreiselpumpen	25	5.2	Bestimmungen der Partikelgrößenverteilung von Schüttgütern	99
2.2.2	Kavitationsfreier Betrieb von Kreiselpumpen, NPSH-Wert	28	5.2.6.1	Datenauswertung der Siebanalyse mit dem TKP Excel	108
2.2.3	Fördern mit Kreiskolbenpumpen und Drehkolbenpumpen	30	5.2.6.2	Grafische Darstellung der Siebanlage mit dem TKP Excel	109
2.3	Fördern von Flüssigkeiten mit Schwerkraft und Druck	30	5.3	Charakterisierung eines Schüttguts	117
2.4	Verdichten und Fördern von Gasen	32	5.4	Zerkleinern	119
2.5	Fördern von Feststoffen	33	5.5	Rühren und Mischen im Rührbehälter	120
2.6	Lagereinrichtungen	34	<b>6</b>	<b>Berechnungen zu mechanischen Trennprozessen</b>	<b>124</b>
2.7	Rührbehälter	37	6.1	Kennzeichnung der Trennprozesse beim Klassieren und Sortieren	124
2.8	Projektiertung von Chemieapparaten – Scale-up	38	6.2	Klassieren mit Siebmaschinen	126
2.9	Druckarten und Druckkräfte in Behältern	39	6.3	Dekantieren	126
2.10	Elektromotore	39	6.4	Sedimentieren	127
2.11	Getriebe	41	6.5	Zentrifugieren mit Sedimentierzentrifugen	128
2.12	Mechanische Belastung von Bauteilen und Apparaten	42	6.6	Staubabscheidung im Zyklon	129
2.13	Gemischte Aufgaben zu Kapitel 2	44	6.7	Filtrieren	131

<b>7</b>	<b>Berechnungen zur Heiz- und Kühltechnik</b>	<b>134</b>	<b>11</b>	<b>Lösen von Aufgaben aus der Steuerungstechnik</b>	<b>193</b>
7.1	Wärmemengen . . . . .	134	11.1	Logische Grundverknüpfungen . . . . .	193
7.2	Energieträger im Chemiebetrieb . . . . .	134	11.2	Zusammengesetzte logische Grundverknüpfungen . . . . .	194
7.3	Wärmeübertragung in der Chemietechnik . . . . .	135	11.3	Rechenregeln der Schaltalgebra . . . . .	197
7.4	Wärmeübertragung mit Rohrbündelwärmetauschern . . . . .	138	11.4	Speicher-Funktionsbausteine . . . . .	200
7.5	Wärmeableitung in Kondensatoren . . . . .	140			
7.6	Wärmeübertragung in Rührbehältern . . . . .	141	<b>12</b>	<b>Berechnungen zur chemischen Reaktionstechnik</b>	<b>204</b>
			12.1	Umgesetzte Stoffmengen in Reaktoren . . . . .	204
<b>8</b>	<b>Berechnungen zu thermischen Trennverfahren</b>	<b>143</b>	12.2	Kenngrößen der Reaktionsabläufe in Reaktoren . . . . .	205
8.1	Industrielles Trocknen . . . . .	143	12.3	Zeitlicher Ablauf chemischer Reaktionen . . . . .	207
8.2	Eindampfen von Lösungen . . . . .	146	12.4	Beeinflussung der Reaktionsgeschwindigkeit . . . . .	207
8.3	Kristallisieren aus Lösungen . . . . .	147	12.5	Chemisches Reaktionsgleichgewicht, Massenwirkungsgesetz . . . . .	208
8.4	Destillation . . . . .	150	12.6	Reaktionsenthalpie . . . . .	209
8.4.1	Physikalische Grundlagen . . . . .	150	12.7	Betriebsweisen und Reaktortypen in der chemischen Produktion . . . . .	210
8.4.1.3 bis 8.4.1.5	Siede- und Gleichgewichtsdiagramm, relative Flüchtigkeit (Trennfaktor) . . . . .	151			
8.4.2	Absatzweise einfache Destillation . . . . .	158	<b>13</b>	<b>Gemischte Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung</b>	<b>212</b>
8.5	Wasserdampfdestillation . . . . .	159			
8.6	Rektifikation . . . . .	161		Aufgaben zu Kapitel 1 Rechnen und Datenauswertung in der Chemietechnik . . . . .	212
8.6.1 bis 8.6.5	Rektifikation in Kolonnen mit Austauschböden . . . . .	161		Aufgaben zu Kapitel 2 Anlagenkomponenten . . . . .	217
8.6.6	Rektifikation mit Füllkörper- und Packungskolonnen . . . . .	166		Aufgaben zu Kapitel 3 Messtechnik in Chemieanlagen . . . . .	222
8.6.7	Kolonnen Durchmesser und Kolonnenhöhe . . . . .	168		Aufgaben zu Kapitel 4 Datenauswertung und Berechnungen zur Qualitätssicherung . . . . .	223
8.6.8	Rektifikation azeotroper Gemische . . . . .	169		Aufgaben zu Kapitel 5 Aufbereitungstechnik . . . . .	227
				Aufgaben zu Kapitel 6 Mechanische Trennverfahren . . . . .	237
<b>9</b>	<b>Berechnungen zu physikalisch-chemischen Trennverfahren</b>	<b>174</b>		Aufgaben zu Kapitel 7 Heiz- und Kühltechnik . . . . .	237
9.1	Flüssig-Flüssig-Extraktion . . . . .	174		Aufgaben zu Kapitel 8 Thermische Trennverfahren . . . . .	240
9.1.1	Absatzweise einfache Flüssig-Flüssig-Extraktion . . . . .	174		Aufgaben zu Kapitel 9 Physikalisch-chemische Trennverfahren . . . . .	245
9.1.2	Absatzweise mehrfache Flüssig-Flüssig-Extraktion . . . . .	175		Aufgaben zu Kapitel 10 Regelungstechnik . . . . .	248
9.1.3	Kontinuierliche Gegenstrom-Flüssig-Flüssig-Extraktion . . . . .	176		Aufgaben zu Kapitel 11 Steuerungstechnik . . . . .	249
9.2	Absorption . . . . .	180		Aufgaben zu Kapitel 12 Chemische Reaktionstechnik . . . . .	251
<b>10</b>	<b>Berechnungen zur Regelungstechnik</b>	<b>184</b>	<b>14</b>	<b>Themenübergreifende Projektaufgaben</b>	<b>253</b>
10.1	Elemente des Regelkreises . . . . .	184		Projektaufgabe 1 . . . . .	253
10.2	Zwischenwerte des Einheitssignals . . . . .	185		Projektaufgabe 2 . . . . .	255
10.3	Zeitverhalten von Regelstrecken . . . . .	187			
10.4	Reglertypen . . . . .	189			
10.4.1	Proportionalregler . . . . .	189			
10.4.2 bis 10.4.6	PI- und PID-Regler . . . . .	190			
10.5	Regelkreisverhalten und Regleranpassung . . . . .	191			

### **Hinweise für den Benutzer zu den Seitenangaben**

Die Seitennummer des vorliegenden Buches LÖSUNGSBUCH BERECHNUNGEN ZUR CHEMIE-TECHNIK ist jeweils am unteren Rand der Seite angegeben.

Die Seitennummer des Lehrbuchs BERECHNUNGEN ZUR CHEMIETECHNIK, auf denen sich die Aufgabentexte befinden, sind am rechten bzw. linken Seitenrand genannt und mit einem ► markiert. Außerdem sind sie in der Kapitelüberschrift genannt.

Zusätzlich ist am rechten und linken Seitenrand die Kapitelnummer des Großkapitels in Großbuchstaben auf grauem Rasterfeld angegeben (Druckregister).

**Beispiel:** Auf der gegenüberliegenden Seite 7 befinden sich die Aufgabentexte im Buch BERECHNUNGEN ZUR CHEMIETECHNIK in Kapitel 1 auf der Seite 10 und 13.

Durch Blättern mit dem rechten oder linken Daumen können die Großkapitelnummer und die Seitennummern des Lehrbuchs BERECHNUNGEN ZUR CHEMIETECHNIK schnell gefunden werden.