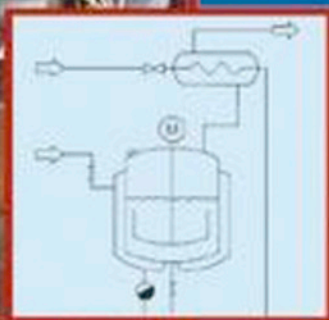


Annerose Hahn, Bernhard Behle,
Dieter Lischewski, Wolfgang Rein

Produktionstechnische Praxis

Grundlagen chemischer
Betriebstechnik

Nach neuer
Ausbildungs-
richtlinie für
Chemikanten



*Annerose Hahn, Bernhard Behle,
Dieter Lischewski, Wolfgang Rein*

Produktionstechnische Praxis

Weitere empfehlenswerte Bücher

Eckhardt, S., Gottwald, W., Stieglitz, B.

1x1 der Laborpraxis
Prozessorientierte Labortechnik
für Studium und Berufsausbildung

2002

ISBN 3-527-30573-4

Reichwein, J., Hochheimer, G., Simic, D.

Messen, Regeln und Steuern
Grundoperationen der Prozessleittechnik

2002

ISBN 3-527-30572-6

Reschetilowski, W.

Technisch-Chemisches
Praktikum

2002

ISBN 3-527-30619-6

Baerns, M., Hofmann, H., Renken, A.

Chemische Reaktionstechnik
Lehrbuch der Technischen Chemie Band 1

3. Auflage

1999

ISBN 3-527-30841-5

Gmehling, J., Brehm, A.

Grundoperationen
Lehrbuch der Technischen Chemie Band 2

1996

ISBN 3-527-30851-2

Onken, U., Behr, A.

Chemische Prozeßkunde
Lehrbuch der Technischen Chemie Band 3

1996

ISBN 3-527-30864-4

*Annerose Hahn,
Bernhard Behle,
Dieter Lischewski,
Wolfgang Rein*

Produktionstechnische Praxis
Grundlagen chemischer Betriebstechnik

Annerose Hahn

Provdadis Partner für Bildung und
Beratung GmbH
Production Technologies
Industriepark Höchst / Gebäude B 836
65926 Frankfurt a. Main

Bernhard Behle

Provdadis Partner für Bildung und
Beratung GmbH
Production Technologies
Industriepark Höchst / Gebäude B 836
65926 Frankfurt a. Main

Dieter Lischewski

Provdadis Partner für Bildung und
Beratung GmbH
Production Technologies
Industriepark Höchst / Gebäude B 836
65926 Frankfurt a. Main

Wolfgang Rein

Provdadis Partner für Bildung und
Beratung GmbH
Production Technologies
Industriepark Höchst / Gebäude B 836
65926 Frankfurt a. Main

Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet.
Dennoch übernehmen Autoren und Verlag für die
Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen
sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte
bibliografische Daten sind im Internet über
<<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

© 2003 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA,
Weinheim

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in
andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches
darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in
irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikrover-
filmung oder irgendein anderes Verfahren – repro-
duziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von
Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache
übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe
von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder son-
stigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht
zu der Annahme, daß diese von jedermann frei be-
nutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch
dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige
gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie
nicht eigens als solche markiert sind.

All rights reserved (including those of translation
into other languages). No part of this book may be
reproduced in any form – by photoprinting, microfilm,
or any other means – nor transmitted or translated
into a machine language without written permission
from the publishers. Registered names, trademarks,
etc. used in this book, even when not specifically
marked as such, are not to be considered unprotected
by law.

Printed in the Federal Republic of Germany

Gedruckt auf säurefreiem Papier.

Satz TypoDesign Hecker GmbH, Leimen
Druck betz-druck GmbH, Darmstadt
Umschlag Litges & Dopf, Heppenheim

ISBN 3-527-28758-2

Inhalt

Vorwort XII

1	Verantwortliches Handeln	1
1.1	Themen und Lerninhalte	1
1.2	Umweltschutz	2
1.2.1	Inhalte und Ziele	2
1.2.2	Reststoffverwertung	2
1.2.3	Umweltgerechte Durchführung von Versuchen	3
1.2.4	Umgang mit Abwasser, Abluft und festem Abfall	7
1.2.5	Fragen zum Thema	9
1.3	Arbeitssicherheit	9
1.3.1	Regelungen zur Arbeitssicherheit	9
1.3.2	Grundlagen der Unfallverhütung	10
1.3.3	Überwachung der Arbeitssicherheit im Betrieb	11
1.3.4	Umgang mit Gefahrstoffen	11
1.3.5	Betriebsbereitschaft einer Anlage	16
1.4	Qualität und Dokumentation	16
1.4.1	Qualitätssicherungssysteme	16
1.4.2	GMP – Was ist das?	19
1.4.3	Dokumentation	20
	Begriffserklärungen	21
2	Werkstoffe	23
2.1	Theoretische Grundlagen	23
2.1.1	Themen und Lerninhalte	23
2.1.1	Metalle	24
2.1.2.1	Eisenmetalle	24
2.1.2.2	Nichteisenmetalle	27
2.1.2.3	Bezeichnung der Werkstoffe	29
2.1.3	Nichtmetalle	31
2.1.4	Verbundwerkstoffe	36
2.1.5	Korrosion	37
2.1.5.1	Ursache und Erscheinungsformen	37

2.1.5.2	Korrosionsschutz	39
2.1.6	Bearbeiten von Werkstoffen	40
2.1.6.1	Vorbereiten des Werkstücks	40
2.1.6.2	Formen von Werkstoffen	41
2.1.6.3	Bohren und Gewinde schneiden	43
2.1.6.4	Verbinden von Werkstücken	45
2.2	Arbeitsanweisungen	49
2.2.1	Herstellen von Testblechen	49
2.2.2	Herstellen einer Grundplatte	49
2.2.3	Herstellen einer Bohrplatte	51
2.2.4	Herstellen von Schutzbacken	52
2.2.5	Herstellen einer Rohrschelle	53
2.2.6	Herstellen eines Winkelstahlrahmens	55
2.2.7	Herstellen eines Bilderhalters	55
2.2.8	Herstellen einer Spardose	57
2.2.9	Untersuchen des Korrosionsverhaltens von Werkstoffen	58
2.3	Fragen zum Thema	59
	Begriffserklärungen	59
3	Rohrleitungssysteme	61
3.1	Theoretische Grundlagen	61
3.1.1	Themen und Lerninhalte	61
3.1.2	Kenngrößen der Rohrleitung	61
3.1.3	Strömungsverhalten in Rohrleitungen	63
3.1.4	Kennlinien von Rohrleitungen	65
3.1.5	Rohrleitungen	66
3.1.6	Rohrverbindungen	69
3.1.7	Dichtungen und Wellenabdichtungen	71
3.1.7.1	Dichtungslose Abdichtung	71
3.1.7.2	Abdichten mit Dichtungsmaterial	72
3.1.8	Einbauten in Rohrleitungen	76
3.1.8.1	Nichtregelbare Absperrvorrichtungen	76
3.1.8.2	Regelbare Absperrvorrichtungen	77
3.1.8.3	Selbsttätige Absperr- und Reguliervorrichtungen	81
3.1.8.4	Sicherheitseinrichtungen	83
3.1.8.5	Einrichtungen bei Energieträgern	85
3.2	Arbeitsanweisungen	87
3.2.1	Untersuchen des Druckverlaufs in einer Rohrleitung	87
3.2.2	Montage von Glasverbindungen	89
3.2.3	Montage einer Glasapparatur	90
3.2.4	Demontage und Montage von Rohrverbindungen an einem Druckbehälter	91
3.2.5	Abdichten einer Welle mit einer Stopfbuchse	92
3.2.6	Demontage und Montage einer Kesselkaskade	93
3.2.7	Montageübung an einem Druckfilter	95

3.2.8	Montage und Demontage eines Rohrleitungssystems mit nicht regelbaren Absperrvorrichtungen	96
3.2.9	Demontage und Montage von regelbaren Absperrvorrichtungen	97
3.2.10	Demontage und Montage von Kondensatableitern	98
3.2.11	Demontage und Montage von Sicherheitsvorrichtungen	98
3.2.12	Montage und Demontage eines Rohrleitungssystems	99
3.3	Fragen zum Thema	100
	Begriffserklärungen	100
4	Fördern und Lagern	101
4.1	Fördern von Flüssigkeiten	101
4.1.1	Theoretische Grundlagen	101
4.1.1.1	Themen und Lerninhalte	101
4.1.1.2	Physikalische Grundlagen	101
4.1.1.4	Zentrifugalpumpen	103
4.1.1.5	Verdrängerpumpen	107
4.1.2	Arbeitsanweisungen	111
4.1.2.1	Demontage und Montage verschiedener Pumpen	111
4.1.2.2	Untersuchen der Fördereigenschaften einer Hubkolbenpumpe	112
4.1.2.3	Vergleich der Fördereigenschaften einer Kreiselpumpe mit denen einer Membranpumpe	112
4.1.2.4	Untersuchen der Fördereigenschaften einer Exzentrerschneckenpumpe	114
4.1.2.5	Untersuchen der Fördereigenschaften einer Schlauchquetschpumpe	114
4.1.2.6	Untersuchen des Druckverlusts in Rohrleitungen	116
4.1.2.7	Kennlinie einer Kreiselpumpe	117
4.1.2.8	Untersuchen der Fördereigenschaften einer Membranpumpe in Abhängigkeit von Hubfrequenz und Hubhöhe	117
4.1.3	Fragen zum Thema	118
4.2	Fördern von Gasen	118
4.2.1	Theoretische Grundlagen	118
4.2.1.1	Themen und Lerninhalte	118
4.2.1.2	Vakuumpumpen	120
4.2.1.3	Ventilatoren	122
4.2.1.4	Gebälse	123
4.2.1.5	Kompressoren	125
4.2.2	Arbeitsanweisungen	126
4.2.2.1	Demontage und Montage verschiedener Vakuumpumpen	126
4.2.2.2	Untersuchen der Abhängigkeit des Druckes einer Drehschiebervakuumpumpe vom Volumenstrom	127
4.2.3	Fragen zum Thema	128
4.3	Fördern und Dosieren von Feststoffen	128
4.3.1	Theoretische Grundlagen	128
4.3.1.1	Themen und Lerninhalte	128

- 4.3.1.2 Diskontinuierlicher Feststofftransport in Gebinden 128
- 4.3.1.3 Kontinuierlicher Feststofftransport mit mechanischen Einrichtungen 129
- 4.3.1.4 Kontinuierlicher Feststofftransport mit pneumatischen Einrichtungen 131
- 4.3.2 Arbeitsanweisung 134
- 4.3.2.1 Pneumatische Förderung von Feststoffen 134
- 4.3.3 Fragen zum Thema 135
- 4.4 Lagern von Stoffen 135
- 4.4.1 Theoretische Grundlagen 135
- 4.4.1.1 Themen und Lerninhalte 135
- 4.4.1.2 Lagern von Feststoffen 136
- 4.4.1.3 Lagern von Flüssigkeiten 137
- 4.4.1.4 Lagern von Gasen 138
- 4.4.2 Fragen zum Thema 140
- Begriffserklärungen 140

- 5 Mischen und Agglomerieren 141**
- 5.1 Mischen von Stoffen 141
- 5.1.1 Theoretische Grundlagen 141
- 5.1.1.1 Themen und Lerninhalte 141
- 5.1.1.2 Herstellen von gasförmigen und flüssigen Mischphasen 142
- 5.1.1.3 Herstellen von festen Mischungen 144
- 5.1.1.4 Herstellen von pastösen oder teigigen Mischungen 147
- 5.1.1.5 Hinweise zur Arbeitssicherheit 148
- 5.1.2 Arbeitsanweisung 148
- 5.1.2.1 Herstellen einer Feststoffmischung 148
- 5.1.3 Fragen zum Thema 149
- 5.2 Agglomerieren 149
- 5.2.1 Theoretische Grundlagen 149
- 5.2.1.1 Themen und Lerninhalte 149
- 5.2.1.2 Herstellen von Agglomeraten 150
- 5.2.2 Arbeitsanweisung 153
- 5.2.2.1 Untersuchen der Abhängigkeit des Pressvolumens vom Pressdruck beim Brikettieren von Papier 153
- 5.2.3 Fragen zum Thema 155
- Begriffserklärungen 155

- 6 Trennen und Zerkleinern 157**
- 6.1 Mechanisches Trennen von Feststoffgemischen 157
- 6.1.1 Theoretische Grundlagen 157
- 6.1.1.1 Themen und Lerninhalte 157
- 6.1.1.2 Sortieren 157
- 6.1.1.3 Klassieren durch Sieben 159
- 6.1.1.4 Korngrößenanalytik 162

- 6.1.1.5 Klassieren durch Sichten 165
- 6.1.2 Arbeitsanweisung 166
- 6.1.2.1 Analyse der Korngrößenverteilung durch Sieben mit einer Laborsiebmaschine 166
- 6.1.3 Fragen zum Thema 167
- 6.2 Mechanisches Trennen von Suspensionen und Emulsionen 167
- 6.2.1 Theoretische Grundlagen 167
- 6.2.1.1 Themen und Lerninhalte 167
- 6.2.1.2 Sedimentieren und Dekantieren 168
- 6.2.1.3 Physikalische Grundlagen des Filtrieren 169
- 6.2.1.4 Filterapparate 175
- 6.2.1.5 Physikalische Grundlagen des Zentrifugierens 179
- 6.2.1.6 Zentrifugen 180
- 6.2.1.7 Hinweise zur Arbeitssicherheit 183
- 6.2.2 Arbeitsanweisungen 183
- 6.2.2.1 Filtration mit einer Handfilterplatte unter Verwendung verschiedener Filtertücher zur Auslegung eines Trommelzellenfilters 183
- 6.2.2.2 Trennen einer Suspension mit unterschiedlichen Filterapparaten 183
- 6.2.2.3 Trennen einer Suspension mit einer Laborsiebzentrifuge 191
- 6.2.2.4 Trennen einer Emulsion durch Zentrifugieren 192
- 6.2.3 Fragen zum Thema 193
- 6.3 Zerkleinern von Stoffen 194
- 6.3.1 Theoretische Grundlagen 194
- 6.3.1.1 Themen und Lerninhalte 194
- 6.3.1.2 Brechen und Mahlen 194
- 6.3.1.3 Brecher 196
- 6.3.1.4 Mühlen 197
- 6.3.1.5 Hinweise zur Arbeitssicherheit 201
- 6.3.2 Arbeitsanweisungen 201
- 6.3.2.1 Brechen von Kalkstein und Klassieren des entstandenen Haufwerks 201
- 6.3.2.2 Mahlen mit verschiedenen Mahlapparaten und Bestimmen der Korngrößenverteilung 202
- 6.3.2.3 Untersuchen der Abhängigkeit der Korngrößenverteilung von der Mahldauer bei einer Kugelmühle 203
- 6.3.2.4 Untersuchen der Abhängigkeit der Korngrößenverteilung von der Art der Mahlkörper bei einer Kugelmühle 204
- 6.3.2.5 Mahlversuche mit einer Fliehkraftkugelmühle 204
- 6.3.2.6 Untersuchen der Abhängigkeit der Korngrößenverteilung von der Größe der Mahlkörper bei einer Schwingmühle 205
- 6.3.2.7 Mahlen mit einer Mörsermühle und Klassieren des Haufwerks mit einem Luftstrahlsieb 205
- 6.3.3 Fragen zum Thema 206
- 6.3.3 Begriffserklärungen 206

7	Wärmeübertragung	207
7.1	Theoretische Grundlagen	207
7.1.1	Themen und Lerninhalte	207
7.1.2	Physikalische Grundlagen	207
7.1.3	Energieträger	209
7.1.4	Wärmeübertragungsverfahren	209
7.1.5	Apparate zur Wärmeübertragung	210
7.1.5.1	Direkte Wärmeübertragung	210
7.1.5.2	Indirekte Wärmeübertragung	212
7.2	Arbeitsanweisungen	214
7.2.1	Direktes Heizen und indirektes Kühlen an einem Reaktionskessel	214
7.2.2	Indirektes Heizen und indirektes Kühlen an einem Reaktionskessel	216
7.2.3	Herstellen und Mischen von Salzlösungen unterschiedlicher Temperatur	216
7.3	Fragen zum Thema	217
8	Verdampfen, Trocknen, Kristallisieren	219
8.1	Verdampfen	219
8.1.1	Theoretische Grundlagen	219
8.1.1.1	Themen und Lerninhalte	219
8.1.1.2	Verdampfer	219
8.1.1.3	Mehrkörperverdampfer	222
8.1.2	Fragen zum Thema	222
8.2	Trocknen	222
8.2.1	Theoretische Grundlagen	222
8.2.1.1	Themen und Lerninhalte	222
8.2.1.2	Trockenverfahren	223
8.2.1.3	Trockner	224
8.2.2	Arbeitsanweisung	227
8.2.2.1	Untersuchen des Trocknungsverhaltens eines Wirbelschichttrockners bei unterschiedlicher Beladung	227
8.2.3	Fragen zum Thema	228
8.3	Kristallisieren	229
8.3.1	Theoretische Grundlagen	229
8.3.1.1	Themen und Lerninhalte	229
8.3.1.2	Kühlkristallisation	230
8.3.1.3	Verdampfungskristallisation	231
8.3.2	Arbeitsanweisung	232
8.3.2.1	Kristallisation einer Salzlösung durch kontinuierliche Verdampfungskristallisation	232
8.3.3	Fragen zum Thema	233
	Begriffserklärungen	233

9	Destillieren und Rektifizieren	235
9.1	Theoretische Grundlagen	235
9.1.1	Themen und Lerninhalte	235
9.1.2	Gleichstromdestillation	235
9.1.2.1	Physikalische Grundlagen	235
9.1.2.2	Destillierverfahren	237
9.1.3	Gegenstromdestillation	240
9.1.3.1	Physikalische Grundlagen	240
9.1.3.2	Apparatetechnik	242
9.1.3.3	Rektifizierverfahren	246
9.2	Arbeitsanweisungen	247
9.2.1	Diskontinuierliche Rektifikation von Ethanol-Wasser-Gemisch mit einer Glockenbodenkolonne bei Normaldruck	247
9.2.2	Diskontinuierliche Rektifikation von Ethanol-Wasser-Gemisch mit einer Füllkörperkolonne bei Normaldruck	249
9.2.3	Reinigung von Ethanol-Wasser-Gemisch durch Vakuumrektifikation	250
9.2.4	Reinigung von Chlorbenzol durch Wasserdampfdestillation	251
9.3	Fragen zum Thema	252
	Begriffserklärungen	252
10	Extrahieren	253
10.1	Theoretische Grundlagen	253
10.1.1	Themen und Lerninhalte	253
10.1.2	Physikalische Grundlagen	253
10.1.3	Feststoffextraktion	254
10.1.4	Flüssigkeitsextraktion	257
10.1.4.1	Allgemeines	257
10.1.4.2	Flüssigkeitsextraktoren	259
10.2	Arbeitsanweisung	261
10.2.1	Feststoffextraktion nach dem Soxhlet-Verfahren	261
10.3	Fragen zum Thema	262
	Begriffserklärungen	262
11	Betriebliche Reaktionstechnik	263
11.1	Theoretische Grundlagen	263
11.1.1	Themen und Lerninhalte	263
11.1.2	Disposition von Arbeitsabläufen	263
11.1.3	Protokollierung	265
11.2	Arbeitsanweisungen	271
11.2.1	Umkristallisation von Carboxypyrazolsäure-4	273
11.2.2	Umfällen von 4-Aminobenzolsulfonsäure	274
11.2.3	Destillation von ethanolhaltigen Gemischen	276
11.2.4	Rektifikation eines Ethanol-Wasser-Gemisches bei Normaldruck	277
11.2.5	Fällen von Schwermetallionen	278

11.2.6	Neutralisation	279
11.2.7	Umsetzung von Schwefelsäure mit Calciumcarbonat	280
11.2.8	Herstellen von basischem Kupfercarbonat	281
11.2.9	Herstellen von Kupfersulfat	282
11.2.10	Herstellen von Calciumcarbonat	283
11.2.11	Herstellen des Azofarbstoffes Tartrazin O	284
11.2.12	Herstellen von Benzoesäureethylester	288
11.2.13	Herstellen von Benzoesäure	289
	Begriffserklärungen	291

Vorwort

Die Unternehmen der chemischen Industrie erzeugen eine Vielzahl unterschiedlicher Produkte, die im täglichen Leben Anwendung finden. Fundamentales Anliegen hinsichtlich Produkt und Herstellungsprozess ist daher die Sicherheit sowie der Schutz von Mensch und Umwelt. Ziel der Selbstverpflichtung »Verantwortliches Handeln« unter wirtschaftlichem Einsatz aller Ressourcen besteht im Optimieren der Produktqualität. Als wichtige Voraussetzung für sicheres und umweltgerechtes Produzieren gelten fachgerecht ausgebildete Mitarbeiter, die den Umgang mit den Apparaturen und Anlagen sicher beherrschen.

Die »**Produktionstechnische Praxis**« eignet sich als Lehrmittel für die Ausbildung dieses Fachpersonals. Es kann insbesondere im Unterricht und in der betrieblichen Ausbildung der Chemieberufe Chemikant, Pharmakant und Chemiebetriebsjungwerker eingesetzt werden. Darüber hinaus ist das vorliegende Buch eine sinnvolle Lernhilfe in der beruflichen Fortbildung aller Produktionsmitarbeiter. Auch zukünftige Meister und Techniker unterstützt es in ihrer Aus- und Weiterbildung.

In abgeschlossenen Kapiteln vermittelt die »**Produktionstechnische Praxis**« fundiertes, durch anschauliche praktische Versuche ergänztes Basiswissen in den folgenden Fachgebieten

- Verantwortliches Handeln
- Werkstoffe
- Rohrleitungssysteme
- Fördern und Lagern
- Mischen und Agglomerieren
- Trennen und Zerkleinern
- Wärmeübertragung
- Verdampfen, Trocknen, Kristallisieren
- Destillieren und Rektifizieren
- Extrahieren
- Betriebliche Reaktionstechnik.

Die einzelnen Kapitel beginnen mit einer Betrachtung physikalisch-technologischer Grundlagen. Verfahrenstypische Einrichtungen und Apparaturen werden in Aufbau und Funktion sowie Einsatzmöglichkeit beschrieben. Diese theoretischen Grundlagen werden durch praktische Arbeitsanweisungen ergänzt, die so den Bezug zur vermittelten Thematik herstellen und vertiefen. Die Arbeitsanweisungen zur Durchführung der praktischen Aufgaben wurden auf der Grundlage jahrelanger Erfahrung in der Abteilung Produktion und Technik der Provalidis, Partner für Bil-