



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Chemieberufe

CHEMIETECHNIK

von

Dr.-Ing. Eckhard Ignatowitz

13. Auflage

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

Europa-Nr.: 70415

Der Autor **Dr.-Ing. Eckhard Ignatowitz** studierte an der Technischen Universität Karlsruhe – heutige Bezeichnung: Karlsruher Institut für Technik (KIT) – Maschinenbau und Verfahrenstechnik. Anschließend arbeitete er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Chemische Technik der Universität Karlsruhe und promovierte dort zum Dr.-Ing.

Danach war er langjährig als Studienrat an beruflichen Schulen tätig und ist Autor zahlreicher Lehrbücher für den Berufsschul- und Technikerbereich.

Entwurf der Bilder: Dr. E. Ignatowitz, zum Teil unter Einbeziehung von Firmenvorlagen.

Fotos: Bildagenturen sowie Leihgaben von Firmen und Fachinstituten
(Auflistung Seite 628 ff.).

Diesem Buch liegen die neuesten Ausgaben der Normen und VDI-Richtlinien zugrunde. Verbindlich für die Planung und Ausschreibung sind nur die Normen und VDI-Richtlinien selbst.

Bezug der Normen und VDI-Richtlinien über: Beuth-Verlag GmbH,
Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin
www.beuth.de

13. Auflage 2022

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-8085-8537-5

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

© 2022 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Layout: rkt, 51379 Leverkusen

Satz: Daniela Schreuer, 78256 Steißlingen

Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, Radevormwald, unter Verwendung eines Fotos von © Rainer – stock.adobe.com

Druck: mediaprint solutions GmbH, 33100 Paderborn

Vorwort

Das vorliegende Buch **CHEMIETECHNIK** ist ein Lehr- und Lernbuch für alle, die im Entwicklungs- und Produktionsbereich der Chemischen Industrie arbeiten und ausgebildet werden, sowie für die, die in diesem Fachgebiet studieren, sich informieren und weiterbilden wollen.

Es ist für den Unterricht in Berufsschulen und Technikerschulen, für das Studium an Fachhochschulen sowie für die betriebliche Ausbildung und die persönliche Fortbildung geeignet.

Es gibt einen Überblick über den Aufbau von Chemieanlagen und die Funktion ihrer Komponenten sowie eine Einführung in die chemische Verfahrenstechnik einschließlich der Mess-, Steuer-, Regelungs- und Prozessleittechnik. Ebenso werden der Umweltschutz und die Arbeitssicherheit behandelt.

Insbesondere kann es als Lernhilfe für die Auszubildenden der **Chemieberufe** in der betrieblichen und schulischen Ausbildung eingesetzt werden. In Deutschland zum Chemikant/in, Produktionsfachkraft Chemie, Chemisch-technische(r) Assistent/in und Operateur/in – Chemische Technik. In Österreich zum Chemieverfahrenstechniker(in), in der Schweiz zum Chemietechnologen(in).

In Teilen ist es geeignet für die Ausbildung zur Fachkraft für Wasserversorgung und Abwassertechnik, zum Pharmatechnologen(in), zum Anlagenmechaniker(in), zum Rohrleitungs- und Behälterbauer(in).

Auch für die vielen in der Chemieproduktion eingesetzten Mitarbeiter/innen, die keine Berufsausbildung in Berufsbereich Chemietechnik erfahren haben, ist das Buch eine wertvolle Hilfe zur beruflichen Weiterbildung und zum beruflichen Weiterkommen.

Bestens einsetzbar ist es für die Ausbildung zum **Industriemeister/in – Fachrichtung Chemie** sowie zum **Chemotechniker** im Fach Betriebs- und Produktionstechnik.

Für Studierende des **Chemieingenieurwesens** und der **Chemie** liefert es eine umfassende Einführung in die chemische Technik.

Das Buch **CHEMIETECHNIK** ist stoffsystematisch aufgebaut und in abgeschlossene Sachgebiete gegliedert. Dieser modulare Aufbau ermöglicht eine Behandlung der Sachgebiete in der Reihenfolge des Buches, aber auch in einer veränderten Abfolge oder eine getrennte Bearbeitung.

Das Buch ist in einer klaren Sprache abgefasst. Die notwendigen Fachausdrücke werden eingeführt und erläutert. Die wichtigen Fachausdrücke sind auch in Englisch angegeben.

Die einzelnen Sachgebiete werden durch Erläuterungen der physikalischen und chemischen Grundlagen eingeführt. Im Anschluss werden die Verfahren sowie die Apparate, Maschinen und Anlagen behandelt. Dadurch wird ein Verstehen und konstruktives Durchdenken der Themen ermöglicht.

Formelmäßige Gesetzmäßigkeiten werden durch Übungsbeispiele untermauert. Anschließend gestellte Fragen und Aufgaben fordern zu weiterer Vertiefung auf. Merksätze fassen die wesentlichen Erkenntnisse in Kurzform zusammen und erleichtern dem Lernenden das Speichern des Wissens.

Am Ende jedes Kapitels folgen Aufgaben und Wiederholungsfragen, die sich aus dem Buchtext bearbeiten lassen. Sie dienen der weiteren Festigung des erworbenen Wissens und können dem Lehrer oder Ausbilder eine Anregung für die Bereicherung seines Unterrichts sein.

Ein ausführliches Sachwortverzeichnis am Ende des Buches ermöglicht das Auffinden von Textstellen. Das Sachwortverzeichnis enthält die englische Übersetzung der Fachausdrücke. Es kann als englisches Sachwort-Wörterbuch genutzt werden.

In der vorliegenden 13. Auflage wurden folgende Inhalte neu aufgenommen bzw. ergänzt:

Membranpumpen (Seite 69), Erzeugung und Lagerung von Industriegasen (111), Mess-, steuer- und regeltechnische Anlagen (117), Kennzeichnung von Gefahrstoffen auf Gebinden (145), Betriebsanweisung zum Umgang mit Gefahrstoffen (147), Bauformen von Rührbehältern (325), Dampferzeugeranlage (346), Schaumvermeidung bzw. Schaumzerstörung (395), Elektroentstaubung (401), Absatzweise einfache Destillation (448 bis 452), Rektifizieren (456), Reglertypen (514 bis 521), Automatisierungseinheiten (553), Industrie 4.0 (566), Vermeidung von CO₂-Freisetzungen (596).

Autor und Verlag freuen sich über Verbesserungsvorschläge an lektorat@europa-lehrmittel.de.

Inhaltsverzeichnis

	Seite		Seite
Chemie und Umwelt	11	4.3.7 Einsatz von Kreiselpumpen	59
Sicherheit im Chemiebetrieb	12	4.3.8 Seitenkanalpumpe	60
Einführung in die Chemietechnik	14	4.3.9 Propellerpumpe	60
Entwicklung eines Produktionsverfahrens	17	4.4 Betriebsverhalten von Kreiselpumpen	61
I Die Chemieanlage	18	4.4.1 Förderstrom und Förderhöhe einer Kreiselpumpe	61
1 Rohrleitungen	19	4.4.2 Förderhöhe einer Anlage	61
1.1 Die Nennweite DN	19	4.4.3 Leistungsbedarf und Wirkungsgrad einer Pumpe	62
1.2 Der Nenndruck PN	20	4.4.4 Kennlinien einer Kreiselpumpe	62
1.3 Betriebstemperatur und zulässiger Betriebsüberdruck	21	4.4.5 Anlagenkennlinie	62
1.4 Größen einer Strömung in Rohren	21	4.4.6 Betriebspunkt einer Kreiselpumpe	63
1.5 Rohre und Rohrmaße für Rohrleitungen	22	4.4.7 Zusammenschalten von Pumpen	63
1.6 Rohr-Formstücke	23	4.4.8 Kennfelder von Kreiselpumpen	64
1.7 Rohrverbindungen	24	4.4.9 Kavitation bei Kreiselpumpen	64
1.8 Werkstoffe für industrielle Rohrleitungen	27	4.4.10 Berechnung der Bedingungen für kavitationsfreien Pumpenbetrieb, NPSH-Wert	65
1.9 Rohrleitungsklassen	28	4.4.11 Anfahren und Abschalten von Kreiselpumpen	67
1.10 Rohrbefestigungen	29	4.5 Hubkolbenpumpen	68
1.11 Kennzeichnung von Rohrleitungen	29	4.5.1 Aufbau und Arbeitsweise von Hubkolbenpumpen	68
1.12 Rohrdehnungsausgleich	31	4.5.2 Merkmale und Verwendung	69
1.13 Rohrisolierungen	32	4.6 Membranpumpen	69
1.14 Grafische Darstellung der Rohrleitungen	33	4.7 Umlaufkolbenpumpen	71
2 Armaturen	35	4.7.1 Schraubenspindelpumpen	71
2.1 Schieber	35	4.7.2 Exzenterschneckenpumpen	71
2.2 Klappen und Hähne	36	4.7.3 Zahnradpumpen	71
2.3 Ventile	36	4.7.4 Drehkolbenpumpen	72
2.3.1 Absperr- und Regelventile	36	4.7.5 Schlauchpumpen	72
2.3.2 Sicherheitsventile	38	4.8 Strahlpumpe	72
2.4 Berstsicherungen	39	4.9 Übersicht: Eigenschaften und Einsatzgebiete von Pumpen	73
2.5 Rückflussverhinderer	40	4.10 Dosieren von Flüssigkeiten	74
2.6 Druckminderventile (Druckminderer)	41	4.11 Dosieren durch Molchen	74
2.7 Kondensatableiter	42	5 Fördern und Verdichten von Gasen	77
2.8 Entlüfter, Schmutzfänger	44	5.1 Gesetzmäßigkeiten bei Zustandsänderungen einer Gasportion	77
2.9 Rohrleitungs-Einbauscheiben	44	5.2 Vorgänge beim Verdichten von Gasen	79
2.10 Geregelte Ventile	45	5.3 Fördereinrichtungen und Verdichter für Gase	79
2.10.1 Darstellung der Armaturen im R & I-Fließschema	45	5.4 Hubkolbenverdichter	80
2.10.2 Stellantriebe für Armaturen	45	5.5 Rotationskolbenverdichter	82
3 Strömungstechnische Vorgänge in Rohrleitungen	47	5.6 Turboverdichter	83
3.1 Volumenstrom, Massenstrom, Strömungsgeschwindigkeit	47	5.7 Gebläse	84
3.2 Strömung in veränderten Rohrquerschnitten	48	5.8 Ventilatoren	84
3.3 Druckänderung bei der Strömung in veränderten Rohrquerschnitten	48	6 Erzeugung von Unterdruck (Vakuumtechnik)	86
3.4 Innere Reibung, Viskosität	49	6.1 Flüssigkeitsring-Vakuumpumpen	86
3.5 Strömungsarten	50	6.2 Treibmittel-Vakuumpumpen	87
3.6 Druckverlust in Rohrleitungen	51	6.3 Kombinierte Strahlpumpensysteme	87
3.7 Rohrleitungskennlinie	52	6.4 Rotationsverdränger-Vakuumpumpen	88
3.8 Druckverlauf in Rohrleitungen	53	6.5 Diffusion-Vakuumpumpen	90
4 Fördern von Flüssigkeiten	54	6.6 Turbo-Molekular-Vakuumpumpen	90
4.1 Übersicht der Förderarten	54	6.7 Auswahl der geeigneten Vakuumpumpe	90
4.2 Fördern mit Pumpen	55	6.7.1 Abpumpen von trockenen Gasen	91
4.3 Kreiselpumpen	55	6.7.2 Abpumpen von dampfhaltigen Gasen	91
4.3.1 Aufbau und Wirkungsweise	55	7 Fördern von Feststoffen	92
4.3.2 Pumpenlaufräder	56	7.1 Beschreibung von Schüttgütern	92
4.3.3 Kreiselpumpen-Bauarten	57	7.1.1 Porosität und Schüttdichte	92
4.3.4 Wellenabdichtung bei Kreiselpumpen	58	7.1.2 Verhalten und Handhabung von Schüttgütern	92
4.3.5 Kreiselpumpenanlage	58		
4.3.6 Sonderbauarten von Kreiselpumpen	59		

	Seite		Seite		
7.2	Mechanische Schüttgutförderer	93	14.9	Alte Gefahrstoff-Kennzeichnung	146
7.3	Pneumatische Schüttgutförderer	96	14.10	Arten von Gefahrstoffen	148
7.4	Schüttgutdosierer	97	14.10.1	Ätzende Stoffe	148
7.5	Förderanlagen für Stückgut	98	14.10.2	Ätz- und Reizgase	149
7.6	Unstetigförderer	99	14.10.3	Atemgifte	149
7.7	Handhabung von Schüttgütern und Stückgut	100	14.10.4	Erstickende Gase	149
8	Lagereinrichtungen in Chemieanlagen	102	14.10.5	Lösemittel und giftige Flüssigkeiten	150
8.1	Lager für Schüttgüter	102	14.10.6	Feste Giftstoffe	150
8.2	Stückgutlagerung	104	14.10.7	Langzeit-Schadstoffe	151
8.3	Lagern von Flüssigkeiten	105	14.10.8	Arbeitsplatzgrenzwerte der Arbeitsstoffe	152
8.4	Handhabung und Transport brennbarer und giftiger Flüssigkeiten	108	14.11	Vermeiden von Gesundheitsschäden durch physikalische Einwirkungen	153
8.5	Lagerung von Gasen	109	14.11.1	Lärmschutz	153
8.5.1	Lagerung von Gasen im Gaszustand	109	14.11.2	Strahlenschutz	153
8.5.2	Erzeugung und Lagerung von verflüssigten Gasen	111			
9	Übersicht der Maschinen und Apparate	113	II	Elektrotechnik im Chemiebetrieb	154
9.1	Elektromotoren und Getriebe	113	1	Elektrotechnische Grundlagen	154
9.2	Rührbehälter (Rührkessel)	114	1.1	Anwendungen der Elektrizität	154
9.3	Zerkleinerungsmaschinen	115	1.2	Grundbegriffe der Elektrotechnik	155
9.4	Filterapparate	115	1.3	Elektrische Grundgrößen	156
9.5	Wärmetauscher	116	1.4	Ohm'sches Gesetz	157
9.6	Destillierkolonnen	116	1.5	Elektrische Leistung, Arbeit, Wirkungsgrad	158
9.7	Mess-, steuer- und regeltechnische Anlagen (MRS-Technik)	117	1.6	Elektrische Schaltung von Verbrauchern	159
9.8	Umwelttechnische Anlagen	117	1.7	Messen elektrischer Größen	160
10	Projektierung von Chemieapparaten	118	1.8	Stromarten	161
11	Zeichnerische Darstellung der Chemieanlage	120	2	Stromversorgung und sicherer Umgang mit der Elektrizität	162
11.1	Grundfließschema	120	2.1	Leitungsnetz und elektrischer Anschluss	162
11.2	Verfahrensfließschema	121	2.2	Elektrische Installation und Anschlüsse	163
11.3	Rohrleitungs- und Instrumentenfließschema (R & I-Fließbild)	123	2.3	Schutzmaßnahmen für elektrische Betriebsmittel	164
11.4	Beispiele von R & I-Fließschemata technischer Anlagen	124	2.4	Mögliche Fehler an stromführenden Geräten	165
11.5	Grafische Symbole in Fließschemata verfahrenstechnischer Anlagen	126	2.5	Gefahren durch den elektrischen Strom	165
12	Betrieb und Instandhaltung chemischer Anlagen	130	2.6	Sicherer Umgang mit stromführenden Leitungen und Maschinen	166
12.1	Betrieb einer Chemieanlage	130	2.7	Bildzeichen auf elektrischen Geräten und Maschinen	166
12.2	Instandhaltung einer Chemieanlage	130	3	Elektrische Antriebsmaschinen in Chemieanlagen	167
12.2.1	Wartung	130	3.1	Arten von Elektromotoren	167
12.2.2	Inspektionen	133	3.1.1	Drehstrom-Kurzschlussläufermotoren	167
12.2.3	Instandsetzung	134	3.1.2	Gleichstrommotoren	170
12.2.4	Instandhaltungskonzepte	134	3.1.3	Motorschutzarten	172
13	Sicherheit von Chemieanlagen	135	3.2	Getriebe für Elektromotoren	172
13.1	Betriebssicherheitsverordnung	135	3.2.1	Keilriemengetriebe	172
13.2	Sicherheitskonzept einer Chemieanlage	136	3.2.2	Zahnradgetriebe	173
13.3	Schutzmaßnahmen gegen Explosionsgefahr in Chemieanlagen	138	3.2.3	Kurvenscheiben-Getriebe	174
14	Unfallverhütung und Arbeitssicherheit	140	3.2.4	Stufenscheibengetriebe	175
14.1	Gefährliche Arbeitsbereiche	140	3.2.5	Umschlingungsetriebe	175
14.2	Brand- und Explosionsschutz	142	4	Elektrochemische Grundlagen	176
14.2.1	Brand- und explosionsgefährliche Stoffe	142	4.1	Galvanische Elemente	176
14.2.2	Vermeiden von Bränden und Explosionen	143	4.2	Elektrolyse	178
14.2.3	Brandbekämpfung und Brandschutz	143	4.2.1	Elektrolyse wässriger Lösungen	178
14.3	Umgang mit gesundheitsschädlichen Stoffen	144	4.2.2	Faraday'sche Gesetze	179
14.4	Klassifizierung von Gefahrstoffen	144	4.2.3	Technische Elektrolyse-Verfahren	179
14.5	Gefahrstoffpiktogramme nach GHS für Gebinde und Verpackungen	145			
14.6	Kennzeichnung von Gefahrstoffen	145	III	Bauteile in Maschinen und Apparaten	181
14.7	Betriebsanweisungen	145	1	Maschinenelemente für drehende Bewegungen	181
14.8	H-Sätze und P-Sätze	146	1.1	Wellen, Achsen, Bolzen	181
			1.2	Zusammenwirken mechanischer Bauteile für Chemieapparate	182

	Seite		Seite		
1.3	Zahnräder	182	6.6	Korrosionsschutzmaßnahmen	226
1.4	Welle-Nabe-Verbindungen	183	6.6.1	Korrosionsschutzanstriche	226
1.5	Wellenkupplungen	184	6.6.2	Zinkbeschichtungen	226
2	Lager	185	6.6.3	Korrosionsschutz von Apparaten aus nichtrostenden Stählen	227
2.1	Gleitlager	185	6.6.4	Verminderung der Aggressivität des einwirkenden Stoffes	227
2.2	Wälzlager	185	6.6.5	Vermeidung von Korrosionsstellen	227
3	Dichtungen	186	6.6.6	Katodischer Korrosionsschutz von Stahl-Bauteilen	228
3.1	Dichtungen an nicht bewegten Flächen	186	6.6.7	Korrosionsschutz von Al-Bauteilen	228
3.2	Wellendichtungen	186	7	Überwachung der Werkstoffe und Bauteile im Betrieb	229
4	Fügeteile für Maschinen und Apparate	188	7.1	Fehlerortung in Chemieanlagen	229
4.1	Schraubenverbindungen	188	7.2	Korrosionsüberwachung	231
4.2	Schraubenarten	189	8	Kunststoffe	232
4.3	Muttern	190	8.1	Eigenschaften und Verwendung	232
4.4	Schraubensicherungen	190	8.2	Technologische Einteilung	232
4.5	Festigkeitsklassen von Schrauben und Muttern	190	8.3	Thermoplastische Kunststoffe	233
4.6	Stifte	190	8.4	Duroplastische Kunststoffe	234
5	Deckelverschlüsse	191	8.5	Elastomere	235
6	Schweiß- und Lötverbindungen	192	8.6	Beständigkeitsverhalten und Alterung der Kunststoffe	236
6.1	Lichtbogenhandschweißen	192	8.7	Verarbeitung von Kunststoffen	236
6.2	Schutzgas-Schweißen	192	9	Verbundwerkstoffe	237
6.3	Gasschmelzschweißen	193	10	Nichtmetallische anorganische Werkstoffe	238
6.4	Löten	193	10.1	Chemieapparatglas	238
7	Hydrauliksysteme in Maschinen	194	10.2	Chemieapparate-Email	238
8	Pneumatik im Chemiebetrieb	196	10.3	Keramische Werkstoffe	239
			10.4	Chemisch beständige Ausmauerungen	239
			10.5	Grafit und Kohlewerkstoffe	239
			11	Schmierstoffe	240
			11.1	Schmieröle	240
			11.2	Schmierfette	241
			11.3	Feste Schmierstoffe	241
IV	Werkstofftechnik für Chemieanlagen	198	V	Messtechnik in Chemieanlagen	242
1	Einteilung der Werk- und Hilfsstoffe	198	1	Temperaturmessung	244
2	Eigenschaften der Werkstoffe	200	1.1	Temperaturskalen	244
2.1	Physikalische Eigenschaften	200	1.2	Mechanische Temperaturmessgeräte	245
2.2	Mechanische Eigenschaften	201	1.3	Widerstandsthermometer	246
2.3	Chemisch-technologische Eigenschaften	202	1.4	Thermoelemente	247
2.4	Fertigungstechnische Eigenschaften	203	1.5	Strahlungs-pyrometer	248
2.5	Umweltverträglichkeit	203	1.6	Übersicht: Einsatzbereiche der Temperatur-Messgeräte	248
3	Stähle	204	2	Druckmessung	249
3.1	Baustähle für mechanische Beanspruchung	204	2.1	Definition, Einheiten, Umrechnung	249
3.2	Baustähle für mechanische und thermische Belastung	207	2.2	Druckarten	249
3.3	Baustähle für chemische Belastung: Die korrosionsbeständigen Stähle	208	2.3	U-Rohr-Manometer	249
3.4	Werkzeugstähle	210	2.4	Federmanometer	250
4	Gusseisen und Stahlguss	212	2.5	Drucksensoren	251
4.1	Gusseisen	212	2.6	Übersicht: Größte und kleinste Messbereiche der Druckmessgeräte	251
4.2	Stahlguss	213	2.7	Druckdifferenzmessung	252
5	Nichteisenmetalle (NE-Metalle)	214	2.8	Druckmittler, Druckwächter	252
5.1	Aluminium und Aluminiumlegierungen	214	2.9	Besonderheiten der Druckmessung	253
5.2	Kupfer und Kupferlegierungen	215	3	Füllstandmessung	255
5.3	Nickel-Werkstoffe	216	3.1	Füllstandmessgeräte für Flüssigkeiten	255
5.4	Titan (Ti)	217	3.1.1	Mechanische Füllstandmessgeräte	255
5.5	Blei (Pb)	217	3.1.2	Hydrostatische Füllstandmessung	256
5.6	Die Sondermetalle Zirkonium (Zr) und Tantal (Ta)	218	3.1.3	Ultraschall-Füllstandmessung	257
5.7	Zink (Zn)	218	3.1.4	Kapazitive Füllstandmessung	257
5.8	Zinn (Sn)	218	3.1.5	Füllstandmessung mit Radar	257
6	Korrosion und Korrosionsschutz	219			
6.1	Chemische Korrosion	219			
6.2	Elektrochemische Korrosion	219			
6.3	Erscheinungsformen der elektrochemischen Korrosion	221			
6.4	Korrosionsbeständigkeit der Werkstoffe	223			
6.5	Auswahl geeigneter Werkstoffe	223			

	Seite		Seite		
3.2	Füllstand-Grenzwertschalter für Flüssigkeiten	258	4.2	Explosionsschutz-Warngeräte mit Wärmetönungs-Sensoren	294
3.3	Füllstandmessgeräte und Grenzscharter für Schüttgüter	259	4.3	Gasanalysegeräte mit Sensoren	294
3.4	Rauminhalte von Behältern	261	4.3.1	Infrarot-Absorptions-Sensoren	295
3.5	Gasmengenbestimmung in Tanks	262	4.3.2	Wärmeleitfähigkeits-Sensoren	295
4	Durchflussmessung und Mengennmessung	263	4.3.3	Elektrochemische Sensoren	295
4.1	Durchflussmesser	264	4.3.4	Technische Gasanalysegeräte	296
4.1.1	Schwebekörper-Durchflussmesser	264	5	Messung von Luftbestandteilen	296
4.1.2	Durchflussmesser mit Messblende	264	5.1	Sauerstoffgehalt und Luftschadstoffe	296
4.1.3	Wirbel-Durchflussmesser	265	5.2	Explosionsgrenzen	296
4.1.4	Schwingungs-Durchflussmesser	265	5.3	Luftfeuchtigkeitsmessung	297
4.1.5	Ultraschall-Durchflussmesser	266	5.4	Rauch- und Staubkonzentrationsmessung	297
4.1.6	Magnetisch-induktiver Durchflussmesser (MID)	266	6	Qualitätssicherung im Chemiebetrieb	298
4.1.7	Coriolis-Massedurchflussmesser	267	6.1	Qualitätsmanagement	298
4.1.8	Thermischer Massedurchflussmesser	267	6.2	Qualitätsmanagementsysteme	299
4.1.9	Turbinenrad-Durchflussmesser	268	6.3	Werkzeuge der Qualitätssicherung	300
4.1.10	Flügelrad-Durchflussmesser	268	6.3.1	Checklisten	300
4.2	Mengenmesser für strömende Fluide	268	6.3.2	Fehlersammelkarte und Datensammelkarte	300
4.3	Strömungsanzeiger und Durchflusswächter	270	6.3.3	Histogramme	301
5	Messwerterfassung, Verarbeitung und Anzeige	271	6.3.4	Verteilungsdichtekurve und statistische Kennwerte	301
5.1	Messwerterfassung	271	6.3.5	Vorberechnungen für die Datensammelkarte	302
5.2	Messwertverarbeitung und Übertragung	271	6.3.6	Pareto-Analyse (ABC-Analyse)	302
5.3	Messwertanzeige	272	6.3.7	Ischikawa-Diagramm	303
5.4	Herkömmliche Messwertausgeber	273	6.3.8	Prozessregelung mit Qualitätsregelkarte	304
6	Darstellung und Benennung von Messstellen	274	6.3.9	Übersicht der Qualitätswerkzeuge	306
VI	Bestimmung von Stoff-, Produkt- und Umgebungseigenschaften	275	VII	Aufbereitungstechnik	307
1	Probenahme	275	1	Beschreibung von Schüttgütern	308
1.1	Probenahme von Flüssigkeiten	276	1.1	Größe von Partikeln in einem Schüttgut	308
1.2	Probenahme von Feststoffen	276	1.2	Oberflächen von Schüttgütern	308
2	Bestimmen der Eigenschaften von Feststoffen	277	1.3	Charakterisierung eines Schüttguts aus unterschiedlich großen Partikeln	309
2.1	Bestimmen der Masse	277	1.4	Verteilungsdichtekurven von Schüttgütern	310
2.2	Bestimmen der Dichte von Feststoffen	279	2	Zerkleinern von Feststoffen	311
2.3	Bestimmen der Feuchtigkeit von Feststoffen	280	2.1	Physikalische Grundlagen	311
2.4	Bestimmung der Partikelgrößen von Schüttgütern	281	2.2	Zerkleinerungsverfahren	312
2.4.1	Probenahme zur Siebanalyse	281	2.3	Brecher	313
2.4.2	Siebanalyse	282	2.4	Mühlen	314
2.4.3	Auswertung der Siebanalyse	283	2.5	Schneidmühlen, Granulatoren	316
2.4.4	RRSB-Körnungsnetz (DIN 66 145)	285	2.6	Zerkleinerungsanlagen	316
3	Messung der Eigenschaften und Bestandteile von Flüssigkeiten	287	3	Flüssigkeitsverteilung	317
3.1	Messung der Dichte von Flüssigkeiten	287	3.1	Berieseln, Versprühen	318
3.2	Viskositätsmessung	288	3.2	Zerstäuben, Verdüsen	318
3.3	Messung der elektrischen Leitfähigkeit	289	4	Agglomerieren (Zusammenfügen)	319
3.4	Messung des pH-Werts	289	4.1	Aufbaugranulieren (Pelletieren)	319
3.5	Messung des Redox-Potentials	290	4.2	Formpressen	321
3.6	Anwendungen der Leitfähigkeits- und pH-Wert-Messung	291	4.3	Sintern	322
3.7	Messung des gelösten Sauerstoffs in Wasser	292	5	Mischen (Stoffvereinigen)	323
3.8	Messung der Trübung in Flüssigkeiten	292	5.1	Mechanisches Rühren von Flüssigkeiten	324
4	Analysenverfahren für Gase und Flüssigkeiten	293	5.1.1	Rührbehälter	324
4.1	Chromatografische Analysegeräte	293	5.1.2	Rührbehälteranbauten	326
			5.1.3	Rührwerk	327
			5.1.4	Rührer	328
			5.1.5	Strömungsvorgänge im Rührbehälter	330
			5.1.6	Verfahrenstechnische Operationen durch Rühren	331
			5.2	Pneumatisches Rühren	333
			5.3	Strömungsmischer	333
			5.4	Kneten, Anteigen	335
			5.5	Mischen von Feststoffschüttungen	337

	Seite		Seite
VIII Heiz- und Kühltechnik	339		
1 Wärme – eine Energieart	339	2.2.3	Kontinuierlich arbeitende Filterapparate
1.1 Wärmeeinheiten	339	2.3	Auspressen
1.2 Wärmemengen	339	2.4	Zentrifugieren
1.3 Umwandlungswärmen	340	2.4.1	Wirkprinzip
1.4 Gesamtwärmemenge bei Aggregatzustandsänderungen	341	2.4.2	Absatzweise arbeitende Filtrierzentrifugen
1.5 Temperaturen von Mischungen	342	2.4.3	Kontinuierlich arbeitende Filtrierzentrifugen
2 Energieträger im Chemiebetrieb	343	2.4.4	Sedimentierzentrifugen
2.1 Brennstoffe	343	2.4.5	Industrielle Zentrifugieranlage
2.2 Elektrischer Strom	344	3 Mechanische Trennung von Emulsionen	393
2.3 Wasserdampf	345	3.1	Dekantieren
2.4 Dampferzeugeranlage	346	3.2	Zentrifugieren
2.5 Heizen mit Wasserdampf	347	3.3	Ultrafiltration
2.6 Heizen mit Heizflüssigkeiten	348	4 Schaumvermeidung bzw. Schaumzerstörung (foam breaking)	395
2.7 Gasförmige und feste Wärmeträger	348		
2.8 Kühl- und Kältemittel	348	X Entstaubung und Abgasreinigung	396
2.9 Druckluft und Vakuum	349	1 Entstaubung	396
3 Wärmeübertragung	350	1.1	Grundlagen der Entstaubung
3.1 Physikalische Grundlagen	350	1.2	Schwerkraftabscheidung
3.2 Wärmeübertragung in der Chemietechnik	351	1.3	Fliehkraftabscheidung im Zyklon
3.3 Wärmeleitung	351	1.4	Filtrationsentstaubung
3.4 Wärmeübergang	352	1.5	Elektroentstaubung
3.5 Wärmedurchgang	353	1.6	Entstaubungsanlage
3.6 Wärmestrahlung	354	1.7	Nass-Entstaubung
3.7 Stoffführung in Wärmetauschern	355	2 Abscheidung feinverteilter Flüssigkeitströpfchen	404
4 Wärmeaustauscher	357	3 Abscheidung von Fremdgasen aus einem Abgasstrom	405
4.1 Rohrbündel-Wärmeaustauscher	357	3.1	Fremdgasabscheidung durch Kondensation
4.2 Rohrschlangen-Wärmeaustauscher	358	3.2	Gasreinigung durch Absorption
4.3 Doppelrohr-Wärmeaustauscher	359	3.3	Gasreinigung durch Adsorption
4.4 Spiral-Wärmeaustauscher	359	3.4	Gasreinigung durch Dampfpermeation
4.5 Platten-Wärmeaustauscher	359	3.5	Katalytische Gasreinigung
5 Kondensatoren	360		
5.1 Oberflächenkondensatoren	360	XI Thermische Trennverfahren	416
5.2 Mischkondensatoren	361	1 Trocknen	417
6 Heizen und Kühlen von Rührbehältern	362	1.1	Physikalische Grundlagen
6.1 Indirekte Wärmeübertragung	362	1.2	h - X -Diagramm der Trocknung
6.2 Direkte Wärmeübertragung	362	1.3	Trocknungsverfahren
6.3 Heiz-/Kühl-Systeme bei Rührbehältern	363	1.4	Trockner für Feststoffschüttungen
7 Energieeinsparung bei Wärmeaustauschverfahren	364	1.5	Trockner für Flüssigkeiten und Suspensionen
8 Kühlen mit Luft und Rieselwasser	365	1.6	Vakuumgefriertrocknung
		1.7	Industrielle Zentrifugier- und Trocknungsanlage
IX Mechanische Trennverfahren	368		
1 Mechanische Trennverfahren für Feststoff-Gemische	368	2 Thermische Trennung von Lösungen	430
1.1 Sortieren	369	2.1	Verdampfen
1.1.1 Dichtesortieren	369	2.1.1	Verdampfen reiner Lösemittel
1.1.2 Flotieren	370	2.1.2	Eindampfen von Lösungen
1.1.3 Magnetsortieren	371	2.1.3	Aufbau und Vorgänge im Verdampfer
1.2 Klassieren	372	2.1.4	Absatzweise und kontinuierliche Eindampfung
1.2.1 Sieben	372	2.1.5	Verdampferbauarten
1.2.2 Windsichten	374	2.1.6	Verdampferanlagen
1.2.3 Stromklassieren (Hydroklassieren)	376	2.2	Auskristallisieren aus Lösungen
1.3 Beschreibung des Trennprozesses beim Klassieren mit der Verteilungsdichte	377	2.2.1	Physikalische Grundlagen
2 Mechanische Trennverfahren für Feststoff/Flüssigkeits-Gemische	378	2.2.2	Kristallisationsverfahren
2.1 Absetzen, Sedimentieren, Flockung	378	2.2.3	Kristallisationsapparate
2.2 Filtrieren	381	2.3	Spezialkristallisationsverfahren: Aussalzen, Verdünnen, Ausfällen
2.2.1 Wirkprinzip	381	2.4	Ausfrieren (Kaltkonzentrieren)
2.2.2 Absatzweise betriebene Filterapparate	382		
		2.2.3	Kontinuierlich arbeitende Filterapparate
		2.3	Auspressen
		2.4	Zentrifugieren
		2.4.1	Wirkprinzip
		2.4.2	Absatzweise arbeitende Filtrierzentrifugen
		2.4.3	Kontinuierlich arbeitende Filtrierzentrifugen
		2.4.4	Sedimentierzentrifugen
		2.4.5	Industrielle Zentrifugieranlage
		3 Mechanische Trennung von Emulsionen	393
		3.1	Dekantieren
		3.2	Zentrifugieren
		3.3	Ultrafiltration
		4 Schaumvermeidung bzw. Schaumzerstörung (foam breaking)	395
		X Entstaubung und Abgasreinigung	396
		1 Entstaubung	396
		1.1	Grundlagen der Entstaubung
		1.2	Schwerkraftabscheidung
		1.3	Fliehkraftabscheidung im Zyklon
		1.4	Filtrationsentstaubung
		1.5	Elektroentstaubung
		1.6	Entstaubungsanlage
		1.7	Nass-Entstaubung
		2 Abscheidung feinverteilter Flüssigkeitströpfchen	404
		3 Abscheidung von Fremdgasen aus einem Abgasstrom	405
		3.1	Fremdgasabscheidung durch Kondensation
		3.2	Gasreinigung durch Absorption
		3.3	Gasreinigung durch Adsorption
		3.4	Gasreinigung durch Dampfpermeation
		3.5	Katalytische Gasreinigung
		XI Thermische Trennverfahren	416
		1 Trocknen	417
		1.1	Physikalische Grundlagen
		1.2	h - X -Diagramm der Trocknung
		1.3	Trocknungsverfahren
		1.4	Trockner für Feststoffschüttungen
		1.5	Trockner für Flüssigkeiten und Suspensionen
		1.6	Vakuumgefriertrocknung
		1.7	Industrielle Zentrifugier- und Trocknungsanlage
		2 Thermische Trennung von Lösungen	430
		2.1	Verdampfen
		2.1.1	Verdampfen reiner Lösemittel
		2.1.2	Eindampfen von Lösungen
		2.1.3	Aufbau und Vorgänge im Verdampfer
		2.1.4	Absatzweise und kontinuierliche Eindampfung
		2.1.5	Verdampferbauarten
		2.1.6	Verdampferanlagen
		2.2	Auskristallisieren aus Lösungen
		2.2.1	Physikalische Grundlagen
		2.2.2	Kristallisationsverfahren
		2.2.3	Kristallisationsapparate
		2.3	Spezialkristallisationsverfahren: Aussalzen, Verdünnen, Ausfällen
		2.4	Ausfrieren (Kaltkonzentrieren)

	Seite		Seite
3 Thermische Trennung von Flüssigkeitsgemischen	444	2 Flüssig/Flüssig-Extraktion	486
3.1 Physikalische Grundlagen	444	2.1 Physikalische Grundlagen	486
3.1.1 Siedeverhalten von Flüssigkeiten	444	2.2 Absatzweise arbeitende Flüssig/Flüssig-Extraktionsanlagen	487
3.1.2 Siedeverhalten von Flüssigkeitsgemischen	444	2.3 Kontinuierliche Flüssig-Flüssig-Extraktionsanlagen	488
3.1.3 Dampfdruck von Flüssigkeitsgemischen	445	2.4 Extraktionsleistung von Kolonnen	490
3.1.4 Siedediagramm (Phasendiagramm)	447	3 Ionenaustausch-Verfahren	491
3.1.5 Gleichgewichtsdigramm	447	3.1 Physikalisch-chemische Grundlagen	491
3.2 Destillieren	448	3.2 Wasser-Vollentsalzung	492
3.2.1 Absatzweise einfache Destillation	448	3.3 Wasserenthärtung	493
3.2.2 Destillierverhalten verschiedener Flüssigkeitsgemische	450	3.4 Abwasserentgiftung	493
3.2.3 Absatzweise einfache Destillation einer Maische (Ethanol/Wasser-Gemisch)	451	3.5 Ionenaustauscheranlagen	493
3.2.4 Absatzweise fraktionierte Destillation	452	4 Membran-Trenntechnologie	495
3.2.5 Kontinuierliche einfache Destillation	453	4.1 Einteilung der Flüssig/Flüssig-Membran-Trennverfahren	495
3.2.6 Überlegungen zur mehrfachen Destillation	454	4.2 Flüssig/Flüssig-Membran-Trennverfahren	496
3.2.7 Wasserdampfdestillation	454	4.2.1 Umkehrosmose (Reversosmose)	496
3.3 Rektifizieren in einer Glockenbodenkolonne	456	4.2.2 Nanofiltration	496
3.3.1 Aufbau einer Rektifikationsanlage	456	4.2.3 Ultrafiltration	497
3.3.2 Vorgänge in der Rektifikationskolonne	456	4.2.4 Mikrofiltration	497
3.3.3 Verlauf der Zusammensetzung in einer Rektifikationskolonne	458	4.3 Apparate der Membran-Trennverfahren	497
3.3.4 Kenngrößen der Rektifikation	459	4.4 Anlagen mit Membran-Trennverfahren	499
3.3.5 Austauschböden für Rektifikationskolonnen	460	4.5 Pervaporation	500
3.4 Rektifikationsverfahren	461	4.6 Dampfpermeation	501
3.4.1 Absatzweise Rektifikation	461		
3.4.2 Kontinuierliche Rektifikation	462	XIII Steuerungs-, Regelungs- und Prozessleittechnik	502
3.4.3 Berechnung einer kontinuierlichen Rektifikation	463	1 Übersicht und Begriffe	502
3.4.4 Arten des Gemischzulaufs	464	2 Regelungstechnik	504
3.4.5 Bestimmung der Trennstufenzahl bei verschiedenen Gemischzuläufen	465	2.1 Grundlagen	504
3.5 Rektifikationskolonnen mit Füllkörpern und Packungen	466	2.2 Darstellung und Bezeichnung von Mess-, Steuer- und Regelstellen	506
3.6 Rektifizieren von Mehrstoff- und Vielstoffgemischen	468	2.3 Beispiele für EMSR-Stellen in Chemieanlagen	508
3.7 Rektifizieren temperaturempfindlicher Gemische	469	2.4 Regelstrecken	510
3.8 Raffinierung des Erdöls	470	2.4.1 Statisches Verhalten von Regelstrecken	510
3.9 Rektifikation azeotroper und eng siedender Gemische	472	2.4.2 Dynamisches Verhalten von Regelstrecken	511
3.9.1 Siedeverhalten azeotroper Gemische	472	2.5 Darstellung der Funktionselemente von Regeleinrichtungen	512
3.9.2 Zweidruck-Azeotrop-Rektifikationsverfahren	473	2.6 Reglertypen	514
3.9.3 Azeotrop-Rektifikation mit Hilfsstoff	474	2.6.1 Proportionalregler	514
3.9.4 Extraktiv-Rektifikation	475	2.6.2 Integralregler	515
3.10 Kombinierte Rektifikationsverfahren	476	2.6.3 Differentialregler	515
3.11 Einsparung von Wärmeenergie beim Betrieb von Rektifikationsanlagen	477	2.6.4 Proportional-Integral-Regler	516
3.12 Regelung von Rektifikationsanlagen	477	2.6.5 Proportional-Differential-Regler (PD-Regler)	516
		2.6.6 Proportional-Integral-Differential-Regler (PID-Regler)	517
XII Physikalisch-chemische Trennverfahren	478	2.7 Vergleich und Einsatz der Reglertypen	518
1 Feststoffextraktion	479	2.8 Regelkreisverhalten und Reglereinstellung	519
1.1 Vorgänge und Begriffe	479	2.9 Digitale Regelgeräte	520
1.2 Industrieller Extraktionsprozess	479	2.10 Unstetige Regler	522
1.3 Lösemittel für die Feststoff-Extraktion	480	2.11 Regler ohne Hilfsenergie	523
1.4 Physikalische Grundlagen	480	2.12 Regelaufgaben in Chemieanlagen	524
1.5 Stoffführung beim Feststoff-Extrahieren	481	2.12.1 Temperaturregelungen	524
1.6 Absatzweise arbeitende Feststoff-Extraktoren	482	2.12.2 Druckregelungen	525
1.7 Kontinuierlich arbeitende Feststoff-Extraktoren	484	2.12.3 Durchflussregelungen	527
		2.12.4 Mengenregelung	527
		2.12.5 Füllstandsregelungen	528
		2.12.6 Regelung von Analysewerten	528
		2.12.7 Regelung einer Rektifikationsanlage	529
		3 Steuerungstechnik	530
		3.1 Steuerungstechnische Grundbegriffe	530
		3.2 Steuerungsarten	531

	Seite		Seite
3.3 Beschreibungsarten für Steuerungsvorgänge	532	4.3 Fließbetrieb mit Kreislaufführung im Reaktor	573
3.3.1 Beschreibung mit Text und Skizze	532	5 Reaktorkombinationen	574
3.3.2 Darstellung von Verknüpfungen	532	6 Hochdruck-Reaktionsapparate	574
3.3.3 Steuerzeitplan und Schaltfolgediagramm	533	7 Reaktionsöfen	576
3.3.4 Ablaufsteuerung eines Chargenreaktors im Schaltfolgediagramm	534	8 Elektrolyseapparate	577
3.4 Verknüpfungssteuerungen	535	9 Beurteilungsgrößen für chemische Prozesse	578
3.4.1 Logische Grundfunktionen	535		
3.4.2 Beispiel einer Sicherheits-Verknüpfungssteuerung	537	XV Umwelttechnik im Chemiebetrieb	580
3.5 Funktionspläne von Ablaufsteuerungen mit GRAFCET	538	1 Chemieproduktion und Umweltschutz	581
3.5.1 Ablaufsteuerung einer Mischanlage	540	2 Umweltschutzbereich Gewässer	583
3.5.2 Ablaufsteuerung einer Reaktionsanlage	541	2.1 Gesetzliche Bestimmungen zum Abwasser	583
3.5.3 Ablaufsteuerung einer Zentrifugieranlage	543	2.2 Reinigungsverfahren für Abwasser	584
3.6 Technische Ausführung von Steuerungen	544	2.3 Auswahl des geeigneten Abwasser-Reinigungsverfahrens	588
3.6.1 Mechanische Steuerungen	544	2.4 Anlage zur Reinigung von Chemieabwasser	589
3.6.2 Elektrische Steuerungen	544	2.5 Mechanisch-biologische Abwasserreinigung in einer kommunalen Kläranlage	590
3.6.3 Elektronische Steuerungen	545	2.6 Biologische Abwasserreinigung in Hochbau-Reaktoren	592
3.6.4 Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS	545	3 Umweltschutzbereich Atmosphäre	593
4 Prozessleittechnik	548	3.1 Gesetzliche Bestimmungen zu Abluft und Abgasen	593
4.1 Vergleich: Konventionelle EMSR-Technik – Prozessleittechnik	548	3.2 Kombinierte Abgasverbrennung und Abluftreinigung	593
4.2 Aufbau von Prozessleitsystemen	550	3.3 Abluftreinigung durch Adsorption und Nachverbrennung	594
4.2.1 Komponenten des PLS einer kleinen Chemieanlage	550	3.4 Reinigung der Abgase von Verbrennungskraftwerken	595
4.2.2 Prozessleitsystem einer großen Chemieanlage	552	3.5 Technologien zur Vermeidung von CO ₂ -Freisetzungen	596
4.2.3 Automatisierungseinheiten	553	4 Beseitigung von Chemieabfällen	597
4.2.4 Bussysteme	554	4.1 Gesetzliche Bestimmungen zur Abfallentsorgung	597
4.2.5 Beobachtungs- und Bedienstationen	554	4.2 Behandlungsverfahren für Abfälle	597
4.2.6 Prozesskonfiguration	555	4.3 Anlage zur Entsorgung der Abfälle eines Chemiebetriebs	598
4.2.7 Managementstation	555	4.4 Großanlage zur Verbrennung industrieller und kommunaler Abfälle	599
4.3 Darstellung des Prozessgeschehens auf dem Bildschirm	556	4.5 Ablagerung auf Sondermülldeponien	600
4.3.1 Fließbilddarstellungen	556	5 Produktionsintegrierter Umweltschutz	601
4.3.2 Konfektionierte Bilder	557		
4.3.3 Kurvenbilder	558	Sachwortverzeichnis	604
4.3.4 Einblendbilder	558		
4.4 Bedienung eines Prozessleitsystems	559	Danksagung	628
4.5 Funktionsumfang eines Prozessleitsystems	560		
4.5.1 Messwert-Aufbereitungsfunktionen	560	Firmen- und Bildquellenverzeichnis	628
4.5.2 Regelfunktionen	560		
4.5.3 Steuerungsfunktionen	561		
4.5.4 Rezeptursteuerung von Chargenprozessen	562		
4.5.5 Steuerung von Rohrleitungsnetzen	564		
4.5.6 Überwachungsfunktionen	564		
4.5.7 Instandhaltungs-Management	565		
4.6 Industrie 4.0 in der Chemieindustrie – Smart Factory	566		
4.6.1 Komponenten einer Smart Factory	566		
4.6.2 Arbeitsweise einer Smart Factory	566		
XIV Chemische Reaktionstechnik	568		
1 Reaktionsverfahren	568		
2 Einflussgrößen auf die Reaktion	569		
3 Chargenbetrieb	570		
3.1 Reaktionsbehälter	570		
3.2 Charakteristisches des Chargenbetriebs	571		
4 Fließbetrieb	572		
4.1 Reaktionsapparate für den Fließbetrieb	572		
4.2 Charakteristisches des Fließbetriebs	572		

Chemie und Umwelt

Der Nutzen chemischer Stoffe

Täglich und allgegenwärtig benutzen wir heute Produkte der Chemieindustrie (**Bild 1**):

- Hygieneartikel wie Seifen, Waschmittel
- Kleidung aus synthetischen Fasern
- Arzneimittel, Kosmetika
- Werk- und Baustoffe aus Kunststoff
- Farbstoffe
- Dünge- und Schädlingsbekämpfungsmittel
- Schmiermittel, Öle, Härtemittel, Kühlmittel

Diese und viele andere Stoffe der Chemieindustrie haben unseren Lebensstandard erhöht, neue Arbeitsplätze geschaffen, bessere Produkte ermöglicht, höhere Ernteerträge bewirkt und die Lebensqualität verbessert.



Bild 1: Chemieprodukte

Umweltgefährdung

Bei der Produktion bzw. der Verarbeitung dieser nützlichen Chemieprodukte entstehen Rückstände, Abfallstoffe, Abwässer und Abgase. Werden sie nicht sachgemäß entsorgt, können sie zu einer ernsthaften Belastung oder sogar Zerstörung der Umwelt führen (**Bild 2**).

Durch unsachgemäße Ablagerung giftiger Produktionsrückstände und Abfälle kann der Boden verseucht und das Grundwasser vergiftet werden.

Durch das Einleiten von giftigem und gesundheitsschädlichem Abwasser in Flüsse und Seen kann das Leben in den Gewässern zerstört werden. Ihr Wasser kann nicht zur Trinkwasserbereitung genutzt werden.

Durch den Ausstoß von giftigen, gesundheitsschädlichen oder geruchsbelästigenden Gasen oder Stäuben in die Atmosphäre kann die Luft derart belastet werden, dass viele Menschen gesundheitliche Schäden erleiden. Dies muss vermieden werden.



Bild 2: Umweltschäden

Die Verantwortung der Beschäftigten im Chemiebetrieb für den Umweltschutz

Jeder Chemiebetrieb hat aufgrund der gesetzlichen Bestimmungen in Zusammenarbeit mit den dafür zuständigen staatlichen Stellen Umweltschutzmaßnahmen erarbeitet, die die Belastung der Umwelt auf ein unvermeidbares Maß beschränken (Seite 580 bis 602). Damit diese Maßnahmen wirken können, muss der im Chemiebetrieb Beschäftigte sich an die Anweisungen halten. Dazu gehört:

- Das störungsfreie Fahren der Chemieanlagen nach Betriebsplan
- Das sofortige Beseitigen bzw. Melden von Betriebsstörungen
- Kein unerlaubtes Ablassen bzw. Deponieren von Chemikalien
- Das sachgemäße Beseitigen von Schadstoffen in den dafür vorgesehenen Sammelbehältern
- Das Vermindern von Abfällen, z. B. durch Mehrfachverwendung (Recycling)
- Umweltbewusstes Handeln in allen Situationen.

Sicherheit im Chemiebetrieb

Der Arbeitsplatz Chemiebetrieb ist ein Ort, der eine Fülle von **Gefahren** für die Mitarbeiter birgt. Zu den allgemeinen Unfallgefahren durch mechanische Verletzungen kommen hier die speziellen Gefahren des Chemiebetriebes, die durch die Produktion und den Umgang mit zum Teil giftigen, ätzenden, brennbaren oder explosiven Chemikalien entstehen.

Deshalb gilt es vor allem für den Neuling im Chemiebetrieb, Hinweise und Anweisungen der Vorgesetzten oder erfahrener Mitarbeiter zu beachten, die ein sicheres Arbeiten und Bewegen im Chemiebetrieb gewährleisten. Ein solches sicherheitsbewusstes Verhalten schützt sowohl die eigene Gesundheit als auch die **Gesundheit** und das **Leben** der anderen Mitarbeiter.

Verbindlich für die Arbeit im Chemiebetrieb sind die **Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie**, die aufgrund der Erfahrung der Chemiebetriebe erstellt wurden. Sie liegen in jedem Betrieb aus und sollten bei Sicherheitsfragen zu Rate gezogen werden.

An besonders gefährdeten Stellen im Chemiebetrieb machen Sicherheitszeichen (Hinweisschilder) auf Gefahren aufmerksam und fordern zu bestimmtem Sicherheitsverhalten auf. Sie sind unbedingt zu beachten. Es gibt verschiedene Kategorien von Sicherheitszeichen.

Verbotszeichen

Die Verbotsschilder verbieten die Handlung, die auf dem Verbotsschild als Bild gezeigt ist (**Bild 1**). Verbotsschilder sind rund, haben eine rote Umrandung und einen roten Querbalken. Die verbotene Handlung ist als schwarzes Piktogramm auf weißem Grund gezeigt.

Die wichtigsten Verbote im Chemiebetrieb sind das allgemeine Rauchverbot sowie das Verbot mit offenem Feuer oder Licht zu hantieren.

Räume, in denen geraucht werden darf, sind besonders gekennzeichnet.

Der Gebrauch von offenem Feuer, z. B. beim Schweißen, muss vom Betriebsleiter genehmigt sein.

Weitere Verbotsschilder sperren Bereiche für den Fußgängerverkehr sowie für Unbefugte, verbieten das Löschen von Bränden mit Wasser und kennzeichnen das Wasser aus einem Wasserhahn als nicht trinkgeeignet.



Bild 1: Verbotsschilder

Verbotsschilder müssen unbedingt befolgt werden.

Warnzeichen

Die Warnzeichen geben Hinweise auf mögliche Gefahren, wie z. B. Feuer- und Explosionsgefahr, giftige oder ätzende Stoffe, radioaktive Strahlen, schwebende Lasten, verkehrende Förderfahrzeuge, elektrische Spannung sowie andere Gefahren (**Bild 2**, diese Seite und Bild 1 nächste Seite).

Warnzeichen haben die Form eines Dreiecks. Sie zeigen die mögliche Gefahr als schwarze Skizze auf gelbem Grund.

Außerdem kann eine Gefahrenstelle durch ein schwarz/gelbgestreiftes Band oder einen solchen Balken abgetrennt werden.



Bild 2: Warnzeichen

Im Bereich eines Warnzeichens sind die Unfallverhütungsvorschriften besonders streng zu beachten.

Vor Beginn der Arbeiten in diesem Bereich sind vom direkten Vorgesetzten Hinweise, Ratschläge und Anweisungen einzuholen.

Erst informieren, dann handeln!

Auch wenn die Arbeit noch so dringend ist, die Arbeitssicherheit hat immer Vorrang!

Gebotszeichen

Gebotszeichen verpflichten zum Tragen einer persönlichen Schutzausrüstung im gekennzeichneten Bereich (**Bild 2**). Sie sind rund und zeigen die zu tragende Schutzausrüstung als weißes Piktogramm auf blauem Grund.

Beim Arbeiten an Chemieanlagen sowie im Bereich von Chemieanlagen sind grundsätzlich ein Schutzhelm und Schutzschuhe zu tragen. Beim Umgang mit ätzenden Chemikalien sowie Anlagen, die solche Chemikalien enthalten, sind zusätzlich ein Augenschutz und Schutzhandschuhe vorgeschrieben. Bei Austritt giftiger Gase oder Stäube ist ein Atemschutz notwendig, usw.

Gebotszeichen verpflichten zum Tragen einer persönlichen Schutzausrüstung.

Rettungszeichen

Rettungszeichen kennzeichnen Rettungswege, Notausgänge, Rettungsduschen sowie Erste-Hilfe- und Rettungsstationen (**Bild 3**). Sie sind rechteckig und zeigen das Symbol als weißes Piktogramm auf grünem Grund. Rettungszeichen dienen dazu, im Falle eines Unfalls auf dem schnellsten Weg Hilfe leisten zu können (z. B. durch Hilfsmittel aus einem Erste-Hilfe-Kasten) bzw. sich vor der Gefahr in Sicherheit bringen zu können.

Brandschutzzeichen

Die Brandschutzzeichen kennzeichnen den Ort, an dem sich die Geräte oder Einrichtungen zum Brandschutz befinden (**Bild 4**).

Sie sind quadratisch und zeigen das Symbol auf rotem Grund, z. B. einen Feuerlöscher.

Die Geräte und Einrichtungen zum Brandschutz dürfen nicht verdeckt oder zugestellt werden.

Die Rettungswege und Rettungsstationen sowie die Brandschutzeinrichtungen im Arbeitsbereich sollten jedem Mitarbeiter bekannt sein.

Weitere Ausführungen zur Unfallverhütung und Arbeitssicherheit auf Seite 140 bis 153.



Bild 1: Warnzeichen



Bild 2: Gebotszeichen



Bild 3: Rettungszeichen

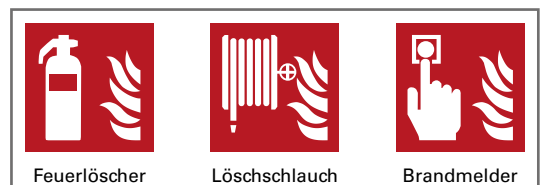


Bild 4: Brandschutzzeichen

Einführung in die Chemietechnik

Die Fachgebiete der Chemietechnik

Die Chemietechnik ist ein äußerst umfangreiches Wissensgebiet. Es lässt sich in Teilbereiche gliedern:

- Die **chemischen Herstellungsverfahren** der Stoffe. Dieses Teilgebiet wird auch als **Chemische Technologie** oder englisch **unit processes** bezeichnet.
Es befasst sich mit den im technischen Maßstab durchgeführten chemischen Stoffumwandlungen (Reaktionen) und den dazu erforderlichen Betriebsbedingungen und Apparaten.
- Die **chemische Verfahrenstechnik**. Sie beschäftigt sich mit den einzelnen Verfahrensschritten, die zur technischen Durchführung eines chemischen Produktionsprozesses erforderlich sind. Man bezeichnet sie als **verfahrenstechnische Grundoperation** oder englisch **unit operations**.
Verfahrenstechnische Grundoperationen sind z. B. das Zerkleinern, das Heizen oder Kühlen, das Mischen und Trennen. Hierbei finden in der Regel **keine** chemischen Stoffumwandlungen statt. Die Stoffe werden vielmehr in ihrem Zustand, z. B. der Korngröße, der Temperatur, dem Gehalt verändert. Es handelt sich bei den verfahrenstechnischen Grundoperationen um physikalische Vorgänge.
- Die **Apparate- und Maschinenteknik**. Dieses Fachgebiet beschreibt und erläutert die Apparate, Reaktoren und Maschinen, die zur Durchführung der chemischen Reaktionen und der verfahrenstechnischen Grundoperationen erforderlich sind. Ein Rührkessel z. B. ist ein Apparat, in dem eine chemische Reaktion oder ein Mischvorgang ablaufen kann. Der Elektromotor z. B., der das Rührwerk des Kessels antreibt, ist eine Antriebsmaschine und liefert die zum Rühren benötigte Energie.
- Die **Mess-, Steuer- und Regeltechnik**. Sie befasst sich mit den Geräten zum Messen, Steuern und Regeln der Betriebs-Zustandsgrößen in einer Chemieanlage. Durch ihren Einsatz laufen die chemischen Reaktionen und die Stoffumwandlungsvorgänge sicher und unter optimalen Bedingungen ab. Geräte der Mess-, Steuer- und Regeltechnik sind z. B. Druckmessgeräte (Manometer), pH-Wert-Messgeräte oder Temperaturregler.

Die Chemieanlage (englisch chemical plant)

Die Vorgänge der Chemietechnik laufen in **Reaktoren** und **Apparaten** ab, in denen die für den Prozess erforderlichen Bedingungen, wie Temperatur, Druck usw. geschaffen werden können.

Die Reaktoren und Apparate sind durch **Rohrleitungen** miteinander verbunden, die durch **Armaturen** geschlossen und geöffnet werden.

Förderanlagen, wie z. B. Pumpen, bewegen die Stoffe durch die Rohrleitungen zu den Apparaten.

Antriebsmaschinen, wie z. B. Elektromotoren, liefern die benötigte mechanische Energie.

Mess-, Steuer- und Regelgeräte messen, überwachen, steuern und regeln die Prozessgrößen.

Die Summe dieser Einrichtungen nennt man **Produktionsanlage** oder **Chemieanlage** (Bild 1).



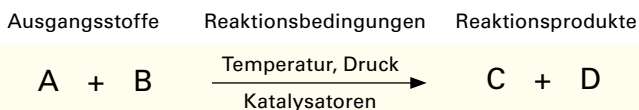
Bild 1: Industrielle Chemieanlage

Darstellung chemischer Abläufe

An einem allgemeinen Beispiel soll die Vielfalt der Aufgaben und Problemstellungen aufgezeigt werden, die bei der Durchführung einer chemischen Reaktion im Chemiebetrieb auftreten können.

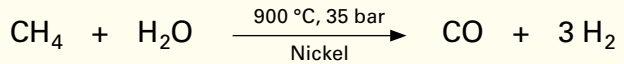
Es sollen die beiden Stoffe **A** und **B** bei ganz bestimmten Temperatur- und Druckbedingungen zu den Stoffen **C** und **D** reagieren.

In der Chemie veranschaulicht man diesen Vorgang mit einer **chemischen Reaktionsgleichung**.



Die **chemische Reaktionsgleichung** beschreibt den chemischen Umwandlungsvorgang der Stoffe. Sie enthält auf der linken Seite die Ausgangsstoffe (Edukte) und auf der rechten Seite die Reaktionsprodukte. Über und unter dem Reaktionspfeil, der die Richtung des Reaktionsverlaufs anzeigt, sind die zur Durchführung der Reaktion erforderlichen Reaktionsbedingungen und Katalysatoren angegeben.

Ein **Beispiel** für eine chemische Reaktionsgleichung ist die Gewinnung des **Synthesegases** CO/H_2 aus Methan und Wasser.



Die Vorbereitung der Ausgangsstoffe auf die chemische Reaktion und die Aufarbeitung der Reaktionsprodukte für ihre weitere Verwendung findet in der chemischen Reaktionsgleichung keine Erwähnung. Häufig verläuft eine chemische Reaktion über Zwischenstufen. Die dabei entstehenden Stoffe nennt man Zwischenprodukte. Sie sind die Ausgangsstoffe der nächsten Produktionsstufe. Entstehende Stoffe, die im Produktionsprozess nicht benötigt werden, nennt man Nebenprodukte oder Abfallstoffe.

Während die Nebenprodukte in einen anderen Produktionsprozess eingebracht werden können, müssen die Abfallstoffe aufgearbeitet oder entsorgt werden.

In der Chemietechnik stellt man chemische Produktionsvorgänge mit Hilfe von **Fließbildern** dar, in denen nicht nur die Stoffe, sondern auch die Fließwege der Stoffe und die verfahrenstechnischen Grundoperationen eingetragen sind.

Im **Grundfließschema** (auch Grundfließbild genannt) sind die wesentlichen Verfahrensschritte in beschrifteten Kästchen und die Stoffströme mit Linien und Pfeilen dargestellt (**Bild 1**).

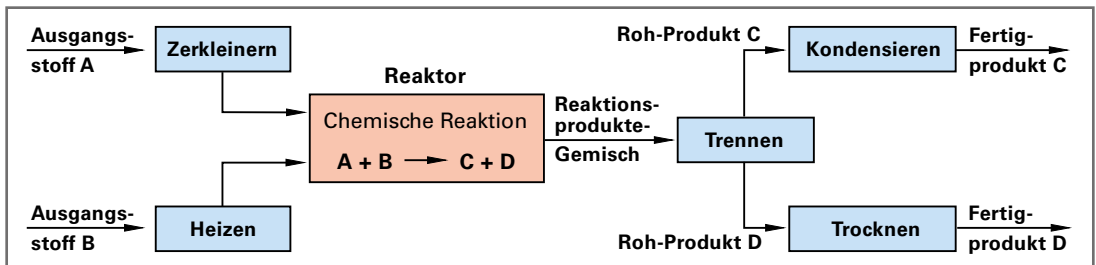


Bild 1: Grundfließschema eines einfachen chemischen Produktionsvorgangs

Kernstück der Chemieanlage ist der Reaktor. In ihm findet die Umsetzung der Ausgangsstoffe zum Produkt statt. Damit die Reaktion ablaufen kann, müssen die Ausgangsstoffe aufbereitet werden, z. B. zerkleinert bzw. erhitzt. Nach der chemischen Reaktion müssen die als Gemisch vorliegenden Reaktionsprodukte getrennt und die Rohprodukte anschließend nochmals aufgearbeitet werden, damit sie die für die Weiterverwendung oder den Verkauf erforderlichen Qualitätsmerkmale haben.

Das **Verfahrensließschema** (auch Verfahrensließbild genannt) stellt ein chemisches Produktionsverfahren in schematischer Form mit grafischen Symbolen für die Apparate sowie mit Linien für die Stoffströme dar (**Bild 2**). Das in Bild 2 dargestellte Beispiel zeigt eine Fällungsreaktion in einem Rührkessel sowie die anschließende Filtration der Suspension in die klare Flüssigkeit und den festen Rückstand. Sie werden in einem Tank bzw. in Fässern gelagert. Die Symbole für die Apparate sind genormt; ebenso die Linienführung der Stoffströme (Seite 120 bis 129). Charakteristische Betriebsbedingungen und die Angabe der wichtigsten Stoffströme vervollständigen das Verfahrensließbild.

Frei gestaltete Fließbilder, die z. B. auf Displays und Monitoren in der Anlagenüberwachung eingesetzt werden, geben ein noch realistischeres Bild der Chemieanlage (**Bild 1**, Seite 16).

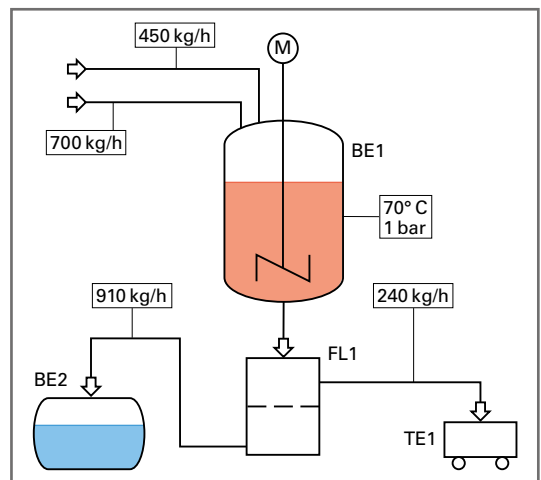


Bild 2: Verfahrensließschema einer Anlage

Verfahrensarten der chemischen Industrie

Bei den **Umsetzungsverfahren** unterscheidet man chemische Verfahren und biotechnologische Verfahren. Während bei den chemischen Verfahren der Stoffumsatz durch rein chemische Reaktionen erfolgt, läuft die Stoffumsetzung bei den biotechnologischen Verfahren mit Hilfe von Mikroorganismen, wie Bakterien und Pilzen, ab.

Die **verfahrenstechnischen Grundoperationen** unterteilt man in mechanische Verfahren, wie z. B. das Zerkleinern, das Sieben und das Mischen, und in thermische Verfahren, wie z. B. das Heizen, das Kühlen, das Trocknen und das Destillieren.

In einer chemischen Produktionsanlage sind chemische Umsetzungsverfahren mit verfahrenstechnischen Grundoperationen kombiniert. So wird z. B. eine chemische Umsetzung in einem Reaktionsgefäß (Reaktor) unter gleichzeitigem Rühren (mechanische Grundoperation) und Heizen (thermische Grundoperation) durchgeführt (**Bild 1**).

Arbeitsweisen in der Chemietechnik

Eine Chemieanlage kann nach unterschiedlichen Arbeitsweisen betrieben werden.

Chargenbetrieb

Beim Chargenbetrieb, auch absatzweiser bzw. diskontinuierlicher Betrieb oder englisch **Batch-process** genannt, werden die einzelnen Verfahrens- und Prozessschritte zeitlich nacheinander durchgeführt. Die Anlage besteht aus dem Reaktionsgefäß, z. B. einem Rührkessel, sowie den Zu- und Ableitungen und Behältern (**Bild 1**).

Zuerst wird der Ausgangsstoff **A** in den Reaktor gepumpt. Danach wird aufgeheizt und durch langsames Zugeben von Ausgangsstoff **B** die chemische Reaktion in Gang gesetzt. Wenn sie beendet ist, wird das Reaktionsprodukt abgelassen und der Reaktor gereinigt. Dann beginnt eine neue Charge. Chargenbetrieb wird bevorzugt bei wechselnden Produkten und kleinen Stoffmengen angewandt. Es können auch langsam ablaufende Reaktionen oder unterschiedliche Herstellungsverfahren in der gleichen Anlage durchgeführt werden.

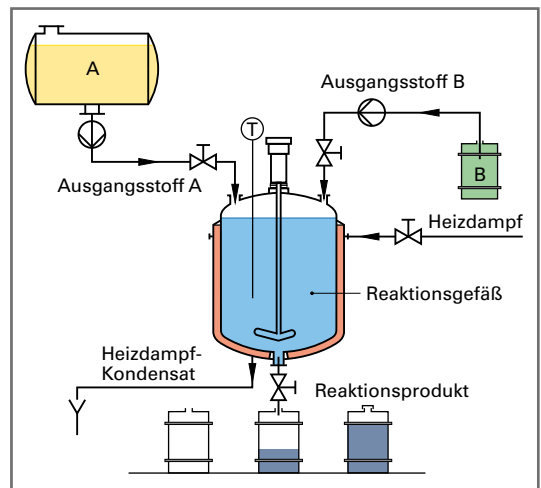


Bild 1: Schema einer Chemieanlage für Chargenbetrieb

Kontinuierlicher Betrieb

Bei einer kontinuierlich betriebenen Chemieanlage durchläuft ein kontinuierlicher (andauernder) Massenstrom die Apparate und Reaktoren einer Anlage vom Anfang bis zum Ausgang (**Bild 2**).

In den einzelnen Apparaten finden örtlich nacheinander die Verfahrensschritte statt. In jedem Apparat herrschen über die ganze Produktionszeit gleichbleibende Prozessbedingungen, wie z. B. gleiche Temperatur, gleicher Druck und gleiche Produktzusammensetzung.

Kontinuierliche Chemieanlagen werden für die Produktion großer Stoffmengen nach einem fest vorgegebenen Reaktionsablauf eingesetzt.

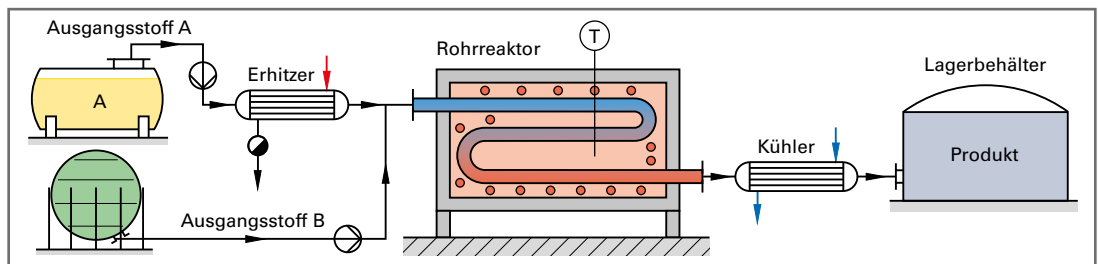


Bild 2: Schema einer kontinuierlich betriebenen Chemieanlage (Beispiel)

Entwicklung eines Produktionsverfahrens

Bevor ein chemisches Produkt in einer Chemieanlage hergestellt werden kann, sind eine Vielzahl von Untersuchungen und vorbereitenden Arbeiten durchzuführen.

Der erste Schritt hierzu ist die Untersuchung des chemischen Vorgangs im **chemischen Labor** (**Bild 1**), wie er in der chemischen Reaktionsgleichung beschrieben wird. In einer Vielzahl von Laborversuchen werden dann die günstigsten Reaktionsbedingungen zur Durchführung der chemischen Reaktion ermittelt. Auch die Aufarbeitung der zur Reaktion benötigten Ausgangsstoffe sowie die Trennung und Nachbehandlung der Reaktionsprodukte wird in vielen Laborversuchen untersucht und dadurch das bestmögliche Verfahren ermittelt. Die Massen mit denen die Reaktionen im Labor durchgeführt werden, betragen in der Regel unter oder wenig mehr als 1 kg.

Die Ergebnisse der Laborversuche sind die Grundlage für den Bau einer halbertechnischen **Technikumsanlage** (auch Pilotanlage genannt), in der die Übertragung des chemischen Prozesses in die Produktion vorbereitet wird (**Bild 2**).

Die halbertechnische Anlage hat, bei kleineren Abmessungen, prinzipiell den gleichen Aufbau und dieselbe Anordnung der Apparate, wie sie die spätere großtechnische Produktionsanlage aufweist. Sie ist so ausgelegt, dass alle Einzelschritte des Verfahrens überwacht, verändert und verbessert werden können. Deshalb sind die meisten Apparateteile aus Glas, sodass die in ihnen ablaufenden Vorgänge beobachtet werden können. Die Massen, die umgesetzt werden, betragen in der Regel weniger als 100 kg.

Die in der halbertechnischen Anlage gewonnenen Erkenntnisse über die Reaktionsbedingungen und die Ausbeute der chemischen Reaktion sowie über die Stoffführung und die Regelung der Anlage werden für die Auslegung und den Bau der großtechnischen **chemischen Produktionsanlage** verwertet (**Bild 3**).

Sie ist so gebaut, dass möglichst viel Reaktionsprodukt mit einem möglichst geringen Kostenaufwand hergestellt werden kann. Dabei muss auch der Umweltschutz berücksichtigt werden, da bereits ein geringer Schadstoffgehalt der Emissionen bei den großen umgesetzten Mengen zu einer Belastung der Umwelt führen kann.

Dieses Übertragen der Abmessungen von einer Technikumsanlage auf eine großtechnische Chemieanlage nennt man im Englischen **scale up**.



Bild 1: Versuche im chemischen Labor



Bild 2: Optimierung der Reaktionsbedingungen in der halbertechnischen Anlage



Bild 3: Produktion in der großtechnischen Chemieanlage

I Die Chemieanlage

Eine Chemieanlage (chemical plant) ist für den Nicht-Fachmann auf den ersten Blick ein unüberschaubares, komplexes Gebilde, bestehend aus einer Vielzahl von Einzelteilen (Bild 3, Seite 17).

Bei analysierender Betrachtung erkennt man jedoch, dass diese Vielzahl von Einzelteilen auf eine begrenzte Anzahl von Grundelementen zurückgeführt werden kann (**Bild 1**):

Rohrleitungen

Sie verbinden die einzelnen Apparate einer chemischen Anlage miteinander. In ihnen werden die Stoffe von einem Apparat zum anderen transportiert.

Meist sind mehrere Rohrstücke über Rohrverbindungen zu Rohrleitungen zusammengesetzt.

Armaturen

Sie sind in die Rohrleitungen eingebaut und regulieren die Menge, der in den Rohrleitungen strömenden Stoffe. Außerdem sperren und öffnen sie Rohrleitungen und schützen Anlagen vor Überlastung.

Reaktionsapparate

In den Reaktionsapparaten (Reaktoren) werden die chemischen Reaktionen durchgeführt. Die Reaktoren sind so gestaltet, dass in ihnen die zum Ablauf der Reaktion erforderlichen Bedingungen, wie z. B. Druck und Temperatur, eingestellt werden können.

Verfahrenstechnische Apparate

Die verfahrenstechnischen Apparate dienen zur Aufbereitung, zum Heizen oder Kühlen, zum Vermischen oder zum Trennen von Stoffen und Stoffgemischen. Sie sind den Reaktionsapparaten vor- oder nachgeschaltet.

Antriebsmaschinen

Die Antriebsmaschinen (Elektromotoren) in den Chemieanlagen liefern die Energie für bewegte Apparateteile (z. B. für den Rührer in einem Kessel) und für sich bewegende Stoffströme, wie z. B. für die strömende Flüssigkeit in einer Rohrleitung.

Fördereinrichtungen

Fördereinrichtungen dienen zum Transport von Stoffen an den Ort der Produktionsanlage, wo sie gebraucht werden. Zu ihnen gehören z. B. Transportbänder, pneumatische Fördersysteme sowie Pumpen und Kompressoren.

Lagereinrichtungen

In Lägern werden Stoffe aufbewahrt, zwischengelagert und auf Vorrat gehalten. Dadurch wird gewährleistet, dass immer ausreichend Ausgangsstoffe vorrätig sind und die Produkte in ausreichender Menge zur Verfügung stehen.

Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen

Die MSR-Einrichtungen dienen dazu, die Betriebszustände, wie z. B. Druck und Temperatur, in Chemieanlagen zu erfassen und den Prozess unter optimalen Bedingungen ablaufen zu lassen. Prozessleitsysteme steuern Chemieanlagen automatisch nach vorgegebenen Programmen.

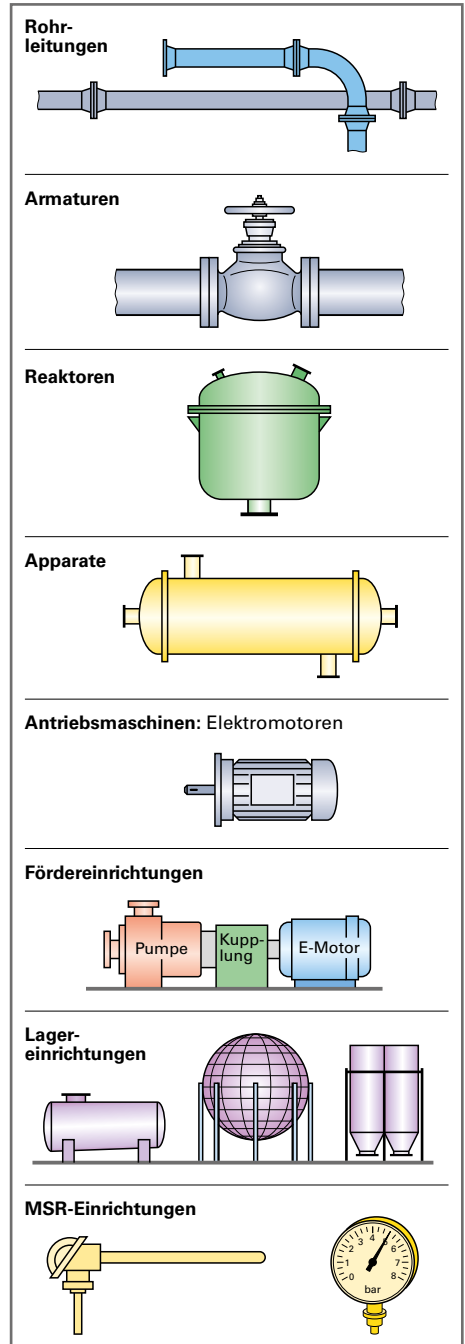


Bild 1: Grundelemente von Chemieanlagen

1 Rohrleitungen

Rohrleitungen (engl. pipelines) sind rohrförmige Verbindungen zwischen Anlagenteilen zur Weiterleitung von Stoffen. In Chemieanlagen erfolgt der Stofftransport zum überwiegenden Teil in geschlossenen Rohrleitungen. Da es sich um abgeschlossene oder in sich geschlossene Teile von Anlagen handelt, spricht man auch von Rohrleitungssystemen oder Rohrnetzen (**Bild 1**).

Rohrleitungssysteme bestehen aus drei Bauelementen:

- den geraden und gebogenen Rohrabschnitten
- den Rohr-Formstücken
- den Rohrverbindungen, die die Rohrstücke und Formstücke miteinander verbinden.



Bild 1: Rohrleitungen in einer Chemieanlage

Diese Bauelemente sind vorgefertigte Bauteile und werden zu komplizierten Rohrleitungssystemen zusammengesetzt.

Zusätzlich können die Rohrleitungen mit Rohrisolierungen und Begleitheizungen versehen sein.

Entsprechend den betrieblichen Anforderungen werden die Abmessungen der Rohre und der geeignete Rohrwerkstoff ausgewählt. Um eine Normierung zu erreichen, wurden die Rohrabmessungen vereinheitlicht und die zulässigen Drücke gestuft.

1.1 Die Nennweite DN

Die Nennweite DN (engl. nominal diameter DN) ist eine Kenngröße, die bei Rohrleitungssystemen als kennzeichnendes Merkmal zueinander passender Teile, z. B. von Rohren, Formstücken und Armaturen, benutzt wird. Sie entspricht annähernd dem Innendurchmesser der Rohrleitungsteile in mm.

Die Nennweite hat keine Einheit. Beispiel einer Nennweitenangabe: DN 125.

Die Nennweite darf nicht als Maßeintragung in technischen Zeichnungen benutzt werden (**Bild 2**).

Die Nennweiten sind so abgestuft, dass sich die Förderkapazität der Rohrleitung von Nennweite zu Nennweite um etwa 60 bis 100 % erhöht.

Die bevorzugten Nennweiten-Stufen nach DIN EN ISO 6708 sind:

DN 10, DN 15, DN 20, DN 25, DN 32, DN 40, DN 50, DN 60, DN 80, DN 100, DN 125, DN 150, DN 200, DN 250, DN 300, DN 350, DN 400, DN 450, DN 500, DN 600, DN 700, DN 800, DN 900, DN 1000, DN 1100, DN 1200, DN 1400, DN 1500, DN 1600, DN 1800, DN 2000, DN 2200, DN 2400, DN 2600, DN 2800, DN 3000, DN 3200, DN 3400, DN 3600, DN 3800, DN 4000.

Auch für alle anderen Teile einer Rohrleitung, wie Rohrformstücke, Rohrverbindungen und Armaturen gelten die gleichen Nennweitenabstufungen. Ihre Größennormen sind so festgelegt, dass diese Teile alle zusammenpassen. Das ist der Zweck der Kenngröße Nennweite.

Die Nennweite wird vom Anlagenkonstrukteur gemäß der Strömungsgeschwindigkeit und dem Förderstrom festgelegt, der durch die Rohrleitung fließen soll.

Dazu berechnet man den erforderlichen Innendurchmesser $d_{i, \text{erf}}$ der Rohrleitung in mm nach nebenstehender Formel.

Es bedeuten: v = Strömungsgeschwindigkeit, $\dot{V}$ = Förderstrom

Als Nennweite wählt man diejenige, die dem berechneten Innendurchmesser d_i als nächst größere folgt.

Beispiel: Berechneter Innendurchmesser $d_{i, \text{erf}} = 37,5$ mm. Gewählte Nennweite: DN 40.

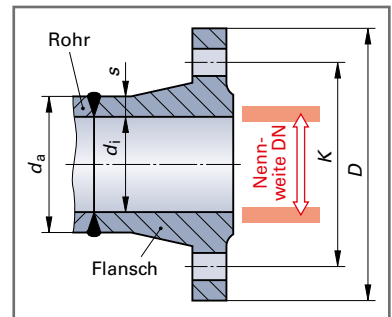


Bild 2: Rohrmaße und Nennweite

Innendurchmesser

$$d_{i, \text{erf}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{\dot{V}}{\pi \cdot v}}$$

Übungsaufgabe: Durch ein Rohr mit Nennweite DN 40 (Innendurchmesser 43,1 mm) strömen stündlich 3,2 m³ Wasser. Welche Strömungsgeschwindigkeit herrscht im Rohr?

Lösung: Grundformel $d_i = 2 \cdot \sqrt{\frac{\dot{V}}{\pi \cdot v}}$ Durch Umstellen folgt daraus: $v = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot d_i^2}$

Einsetzen: $v = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot d_i^2} = \frac{4 \cdot 3,200 \text{ m}^3}{\pi \cdot 43,1 \text{ mm}^2 \cdot \text{h}} \approx \frac{4 \cdot 3,200 \cdot 10^9 \text{ mm}^3}{\pi \cdot 1858 \text{ mm}^2 \cdot 3600 \text{ s}} \approx 6,09 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \approx \mathbf{0,609 \frac{cm}{s} = 0,022 \frac{km}{h}}$

Aufgabe: Ein Rührkessel mit 1,2 m³ Fassungsvermögen soll innerhalb von 5 Minuten mit Flüssigkeit gefüllt werden. Im Zulaufrohr soll die Strömungsgeschwindigkeit 1,0 m/s nicht überschreiten. Welche Nennweite muss das Zulaufrohr haben?

1.2 Der Nenndruck PN

Der Nenndruck, kurz PN (engl. nominal pressure PN), ist eine Kenngröße für die Druckbelastbarkeit eines Rohrleitungssystems, in dem Rohrleitungsteile gleicher Druckbelastbarkeit und gleicher Anschlussmaße zusammengefasst sind.

Der Zahlenwert eines Nenndrucks, z. B. bei PN 10, gibt den maximal zulässigen Betriebsüberdruck in bar bei einer Betriebstemperatur von 20 °C an. Der Nenndruck wird ohne Einheit angegeben, z. B. PN 10. Um eine Unzahl von Druckstufen zu vermeiden, wurde eine der betrieblichen Praxis gerecht werdende Anzahl von Nenndruck-Stufen vereinbart. **Tabelle 1** zeigt die bevorzugten Nenndruck-Stufen.

Benötigt man z. B. eine Rohrleitung für eine Anlage, in der ein Arbeitsdruck von 20 bar herrscht, so wählt man die Rohrleitungsteile für die jeweils höhere Nenndruckstufe, also hier PN 25. Die Armaturen und Rohr-Formteile für diese Rohrleitung müssen ebenfalls der Druckstufe PN 25 entsprechen.

Tabelle 1: Bevorzugte Nenndruck-Stufen (DIN EN 1333)		
PN 2,5	PN 25	PN 160
PN 6	PN 40	PN 250
PN 10	PN 63	PN 320
PN 16	PN 100	PN 400

Die Wandstärke der Rohre ist, unter Berücksichtigung der Festigkeit des Rohrwerkstoffs so ausgelegt, dass sie dem genannten Nenndruck standhält. Für die verschiedenen Rohrwerkstoffe gibt es Maßnormen der Hersteller. **Tabelle 2** zeigt die Hauptmaße von Rohren aus unlegierten Stählen und ihre Eignung für verschiedene Nenndrücke PN.

Tabelle 2: Maße für Stahlrohre in mm aus unlegierten Stählen in Abhängigkeit von Nennweite und Nenndruck (Richtwerte)																
		Nennweiten DN														
		DN10	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100	DN125	DN150	DN200	DN250	DN300
Nenndruck-Stufen PN	PN 2,5	d_a	17,2	21,3	26,9	33,7	42,4	48,3	60,3	76,1	88,9	114,3	139,7	168,3	219,1	273
	PN 6	s	1,8	2	2,3	2,6	2,6	2,9	2,9	3,2	3,6	4	4,5	5,9	6,3	7,1
	PN 10	d_i	13,6	17,3	22,3	28,5	37,2	43,1	54,5	70,3	82,5	107,1	131,7	159,3	207,3	260,4
	PN 16	d_a													219,1	273
	PN 25	s													6,3	7,1
		d_i													206,5	258,8
		d_a					48,3		76,1	88,9	114,3	139,7	168,3	219,1	273	323,9
		s						2,9	3,2	3,6	4	4,5	5,6	7,1	8,8	11
	PN 63	d_i													204,9	255,4
							42,5		69,7	81,7	106,3	130,7	157,1	204,9	255,4	301,9

In den mit einem roten senkrechten Pfeil gekennzeichneten Bereich gelten die darüber stehenden Maße.

Man kann die **Mindestwanddicke e** einer mit dem Druck p_e beaufschlagten geraden Rohrleitung nach DIN EN 13480-3 mit den nebenstehenden Gleichungen berechnen. Es sind: p_c Berechnungsdruck in N/mm²; mit 1 bar = 10⁵ N/m² = 0,1 N/mm²; f Auslegungsspannung in N/mm²; z Schweißnahtfaktor

Für nicht-austenitische Stähle: $f = \frac{R_{p0,2}}{1,5}$; Für austenitische Stähle: $f = \frac{R_{p0,2}}{1,2}$

Für die zu bestellende Wanddicke e_{ord} werden noch Zuschläge für Korrosion, Fertigungsabtrag und Herstellungstoleranz zugegeben.

Wanddicke eines Rohres

$$e = \frac{p_c \cdot d_i}{2 \cdot f \cdot z - p_c}$$

oder

$$e = \frac{p_c \cdot d_a}{2 \cdot f \cdot z + p_c}$$