



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Chemieberufe

CHEMIETECHNIK

von

Dr.-Ing. Eckhard Ignatowitz

unter Mitwirkung von
OStR Gerhard Fastert

12. Auflage

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger 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.

Der Mitautor **OStR Gerhard Fastert** studierte an der Universität Hamburg das Lehramt für berufliche Schulen Fachrichtung Chemie/Chemietechnik und unterrichtete als Oberstudienrat an einer Gewerbeschule für Chemieberufe.

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

Fotos: Leihgaben von Firmen und Fachinstituten (Auflistung Seite 606).

Das Buchtitelbild wurde mit freundlicher Unterstützung der Firma Buss-SMS-Canzler GmbH/Butzbach erstellt.

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

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

12. Auflage 2015 – unveränderter Nachdruck 2019 – keine Änderungen seit der 1. Quo^{te}
Druck 5 4
Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern untereinander unverändert sind.

ISBN 978-3-8085-7120-0

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

© 2015 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz & Layout: rkt, 51379 Leverkusen, www.rktypo.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 der Schweiz zum Chemietechnologen.

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

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 Studenten/Studentinnen 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.

Über 2000 farbige Abbildungen, Fotos und grafische Darstellungen sowie eine Vielzahl von Tabellen dienen zur Anschauung, Erläuterung und Unterstützung des Textes.

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 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.

Ab Seite 582 sind die Lernfelder des Ausbildungsberufs Chemikant(in) gemäß KMK-Rahmenlehrplan aufgelistet und Vorschläge für die Zuordnung zu den Inhalten im Buch **CHEMIETECHNIK** gemacht.

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

In der vorliegenden 12. Auflage wurden folgende Inhalte neu aufgenommen bzw. ergänzt: Projektierung von Chemieanlagen (Seite 114), Temperatur- und Druckmessung (Seite 240 bis 248), Auswertung der Siebanalyse (Seite 274 ff), Qualitätswerkzeuge (Seite 294 bis 300), Absorption (Seite 396 ff), Beispiel einer Rektifikationsaufgabe (Seite 454), Einfluss der Einlaufhöhe bei Rektifikationskolonnen auf die Trennwirkung (Seite 455), Flüssig-Flüssig-Extraktion (Seite 468 bis 478).

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

Inhaltsverzeichnis

	Seite		
Chemie und Umwelt	11	4.3.6 Sonderbauarten von Kreiselpumpen	58
Sicherheit im Chemiebetrieb	12	4.3.7 Einsatz von Kreiselpumpen	58
Einführung in die Chemietechnik	14	4.3.8 Seitenkanalpumpe	59
Entwicklung eines Produktionsverfahrens	17	4.3.9 Propellerpumpe	59
I Die Chemieanlage	18	4.4 Betriebsverhalten von Kreiselpumpen	60
1 Rohrleitungen	19	4.4.1 Förderstrom und Förderhöhe einer Pumpe	60
1.1 Die Nennweite DN	19	4.4.2 Förderhöhe einer Anlage	60
1.2 Der Nenndruck PN	20	4.4.3 Leistungsbedarf und Wirkungsgrad einer Pumpe	61
1.3 Rohre und Rohrmaße für Rohrleitungen	21	4.4.4 Kennlinien einer Kreiselpumpe	61
1.4 Rohrformstücke	23	4.4.5 Anlagenkennlinie	61
1.5 Rohrverbindungen	23	4.4.6 Betriebspunkt einer Kreiselpumpe	62
1.6 Werkstoffe für Rohrleitungen	26	4.4.7 Zusammenschalten von Pumpen	62
1.7 Rohrleitungsklassen	27	4.4.8 Kennfelder von Kreiselpumpen	63
1.8 Rohrbefestigungen	28	4.4.9 Kavitation bei Kreiselpumpen	63
1.9 Kennzeichnung von Rohrleitungen	28	4.4.10 Berechnung des kavitationsfreien Pumpenbetriebs, NPSH-Wert	64
1.10 Rohrdehnungsausgleich	30	4.4.11 Anfahren und Abschalten von Kreiselpumpen	66
1.11 Rohrisolierungen	31	4.5 Hubkolbenpumpen	67
1.12 Grafische Darstellung der Rohrleitungen	32	4.5.1 Aufbau und Arbeitsweise von Hubkolbenpumpen	67
2 Armaturen	34	4.5.2 Merkmale und Verwendung	68
2.1 Schieber, Klappen, Hähne	34	4.6 Kolben-Membranpumpen	68
2.2 Ventile	35	4.7 Umlaufkolbenpumpen	69
2.2.1 Absperr- und Regelventile	35	4.7.1 Schraubenspindelpumpen	69
2.2.2 Stellantriebe für Armaturen	37	4.7.2 Exzenterorschneckenpumpen	69
2.2.3 Geregelte Ventile	38	4.7.3 Zahnradpumpen	69
2.2.4 Darstellung der Armaturen im R & I-Fließschema	38	4.7.4 Impellerpumpen	70
2.3 Rohrleitungs-Einbauscheiben	38	4.7.5 Schlauchpumpen	70
2.4 Rückflussverhinderer	39	4.8 Strahlpumpe	70
2.5 Sicherheitsventile	40	4.9 Übersicht: Eigenschaften und Einsatzgebiete von Pumpen	71
2.6 Berstsicherungen	41	4.10 Dosieren von Flüssigkeiten	72
2.7 Druckminderventile (Druckminderer)	42	4.11 Dosieren und Reinigen durch Molchen	72
2.8 Kondensatableiter	43	5 Fördern und Verdichten von Gasen	75
2.9 Entlüfter	45	5.1 Gesetzmäßigkeiten bei Zustandsänderungen einer Gasportion	75
2.10 Schmutzfänger	45	5.2 Vorgänge beim Verdichten von Gasen	77
3 Strömungstechnische Vorgänge in Rohrleitungen	46	5.3 Fördereinrichtungen und Verdichter für Gase	77
3.1 Volumenstrom, Massenstrom, Strömungsgeschwindigkeit	46	5.4 Hubkolbenverdichter	78
3.2 Strömung in veränderten Rohrquerschnitten	47	5.5 Rotationskolbenverdichter	80
3.3 Druckänderung bei der Strömung in veränderten Rohrquerschnitten	47	5.6 Turboverdichter	81
3.4 Innere Reibung, Viskosität	48	5.7 Gebläse	82
3.5 Strömungsarten	49	5.8 Ventilatoren	82
3.6 Druckverlust in Rohrleitungen	50	6 Erzeugung von Unterdruck (Vakuumtechnik)	84
3.7 Rohrleitungskennlinie	51	6.1 Flüssigkeitsringvakuumpumpen	84
3.8 Druckverlauf in Rohrleitungen	52	6.2 Treibmittelvakuumpumpen	85
4 Fördern von Flüssigkeiten	53	6.3 Kombinierte Strahlpumpensysteme	85
4.1 Übersicht der Förderarten	53	6.4 Rotationsverdränger-Vakuumpumpen	86
4.2 Fördern mit Pumpen	54	6.5 Diffusionsvakuumpumpen	88
4.3 Kreiselpumpen	54	6.6 Turbo-Molekularpumpen	88
4.3.1 Aufbau und Wirkungsweise	54	6.7 Einsatz der geeigneten Vakuumpumpe	88
4.3.2 Pumpenlaufräder	55	6.7.1 Abpumpen von trockenen Gasen	89
4.3.3 Kreiselpumpen-Bauarten	56	6.7.2 Abpumpen von dampfhaltigen Gasen	89
4.3.4 Wellenabdichtung bei Kreiselpumpen	57		
4.3.5 Kreiselpumpenanlage	57		

	Seite		Seite
7 Fördern von Feststoffen	90	14.5.3 Atemgifte	143
7.1 Beschreibung von Schüttgütern	90	14.5.4 Erstickende Gase	143
7.2 Mechanische Schüttgutförderer	91	14.5.5 Lösemittel und giftige Flüssigkeiten	144
7.3 Pneumatische Schüttgutförderer	94	14.5.6 Feste Giftstoffe	144
7.4 Schüttgutdosierer	95	14.5.7 Langzeit-Schadstoffe	145
7.5 Förderanlagen für Stückgut	96	14.5.8 Arbeitsplatzgrenzwerte	146
7.6 Unstetigförderer	97	14.6 Vermeiden von Gesundheitsschäden durch physikalische Einwirkungen	147
7.7 Handhabung: Schüttgüter und Stückgut	98	14.6.1 Lärmschutz	147
8 Lagerung und Transport von Chemikalien	100	14.6.2 Strahlenschutz	147
8.1 Lager für Schüttgüter	100		
8.2 Stückgutlagerung	102		
8.3 Lagern von Flüssigkeiten	103		
8.4 Handhabung und Transport brennbarer und giftiger Flüssigkeiten	106		
8.5 Lagerung von Gasen	107		
9 Übersicht der Maschinen und Apparate	110		
9.1 Elektromotoren und Getriebe	110		
9.2 Rührbehälter (Rührkessel)	111		
9.3 Zerkleinerungsmaschinen	112		
9.4 Filtrierapparate	112		
9.5 Wärmetauscher	113		
9.6 Rektifikationskolonnen	113		
10 Projektierung von Chemieapparaten	114		
11 Zeichnerische Darstellung der Chemieanlage	116		
11.1 Grundfließschema	116		
11.2 Verfahrensfließschema	117		
11.3 Rohrleitungs- und Instrumentenfließschema (R&I - Fließschema)	119		
11.4 Beispiele von R&I - Fließschemata technischer Anlagen	120		
11.5 Grafische Symbole in Fließschemata	122		
12 Betrieb und Instandhaltung	126		
12.1 Betrieb einer Chemieanlage	126		
12.2 Instandhaltung einer Chemieanlage	126		
12.2.1 Wartung	126		
12.2.2 Inspektionen	129		
12.2.3 Instandsetzung	130		
13 Sicherheit von Chemieanlagen	130		
13.1 Betriebssicherheitsverordnung	131		
13.2 Sicherheitskonzept einer Chemieanlage	132		
13.3 Schutzmaßnahmen gegen Explosionsgefahr	134		
14 Unfallverhütung und Arbeitssicherheit	136		
13.1 Gefährliche Arbeitsbereiche	136		
14.2 Brand- und Explosionsschutz	138		
14.2.1 Brand- und explosionsgefährliche Stoffe	138		
14.2.2 Vermeiden von Bränden und Explosions	139		
14.2.3 Brandbekämpfung und Brandschutz	139		
14.3 Umgang mit gesundheitsschädlichen Stoffen	140		
14.4 Kennzeichnung von Gefahrstoffen	140		
14.4.1 Gefahrstoffpiktogramme nach GHS	140		
14.4.2 H-Sätze und P-Sätze	140		
14.4.3 Alte Gefahrstoff-Kennzeichnung	140		
14.5 Arten von Gefahrstoffen	142		
14.5.1 Ätzende Stoffe	142		
14.5.2 Ätz- und Reizgase	143		
		II Elektrotechnik im Chemiebetrieb	148
		1 Elektrotechnische Grundlagen	148
		1.1 Anwendungen der Elektrizität	148
		1.2 Grundbegriffe der Elektrotechnik	149
		1.3 Elektrische Grundgrößen	150
		1.4 Ohm'sches Gesetz	151
		1.5 Elektrische Leistung, Arbeit, Wirkungsgrad	152
		1.6 Elektrische Schaltung von Verbrauchern	153
		1.7 Messen elektrischer Größen	154
		1.8 Stromarten	155
		2 Stromversorgung und sicherer Umgang mit der Elektrizität	156
		2.1 Leitungsnetz und elektrischer Anschluss	156
		2.2 Elektrische Installation und Anschlüsse	157
		2.3 Schutzmaßnahmen für elektrische Betriebsmittel	158
		2.4 Mögliche Fehler an stromführenden Geräten	159
		2.5 Gefahren durch den elektrischen Strom	159
		2.6 Sicherer Umgang mit stromführenden Leitungen und Maschinen	160
		2.7 Bildzeichen auf elektrischen Geräten und Maschinen	160
		3 Elektrische Antriebsmaschinen in Chemieanlagen	161
		3.1 Elektromotoren	161
		3.1.1 Drehstrom-Kurzschlussläufermotoren	161
		3.1.2 Gleichstrommotoren	164
		3.1.3 Motorschutzarten	166
		3.2 Getriebe für Elektromotoren	166
		3.2.1 Keilriemengetriebe	166
		3.2.2 Zahnradgetriebe	167
		3.2.3 Kurvenscheiben-Getriebe	168
		3.2.4 Stufenscheibengetriebe	169
		3.2.5 Umschaltungsgetriebe	169
		4 Elektrochemische Grundlagen	170
		4.1 Galvanische Elemente	170
		4.2 Elektrolyse	172
		4.2.1 Elektrolyse wässriger Lösungen	172
		4.2.2 Faraday'sche Gesetze	173
		4.2.3 Technische Elektrolyse-Verfahren	173
		III Bauteile in Maschinen und Apparaten	175
		1 Elemente für drehende Bewegungen	175
		1.1 Wellen, Achsen, Bolzen	175
		1.2 Zahnräder	176
		1.3 Welle-Nabe-Verbindungen	177
		1.4 Wellenkupplungen	178

	Seite		Seite
2 Lager	179	6.6 Korrosionsschutzmaßnahmen	220
2.1 Gleitlager	179	6.6.1 Korrosionsschutzanstriche	220
2.2 Wälzlager	179	6.6.2 Zinkbeschichtungen	220
3 Dichtungen	180	6.6.3 Korrosionsschutz von Apparaten aus nichtrostenden Stählen	221
3.1 Dichtungen an nicht bewegten Flächen	180	6.6.4 Verminderung der Aggressivität des einwirkenden Stoffes	221
3.2 Wellendichtungen	180	6.6.5 Vermeidung von Korrosionsstellen	221
4 Fügeteile für Maschinen und Apparate	182	6.6.6 Katodischer Korrosionsschutz	222
4.1 Schraubenverbindungen	182	6.6.7 Korrosionsschutz von Al-Bauteilen	222
4.2 Schraubenarten	183	7 Überwachung der Werkstoffe und Bauteile im Betrieb	223
4.3 Muttern	184	7.1 Fehlerortung in Chemieanlagen	223
4.4 Schraubensicherungen	184	7.2 Korrosionsüberwachung	225
4.5 Festigkeitsklassen von Schrauben und Muttern	184	8 Kunststoffe	226
4.6 Stifte	184	8.1 Eigenschaften und Verwendung	226
5 Deckelverschlüsse	185	8.2 Technologische Einteilung	226
6 Schweiß- und Lötverbindungen	186	8.3 Thermoplastische Kunststoffe	227
6.1 Lichtbogenhandschweißen	186	8.4 Duroplastische Kunststoffe	228
6.2 Schutzgas-Schweißen (SG-Schweißen)	186	8.5 Elastomere	229
6.3 Gasschmelzschweißen	187	8.6 Beständigkeitsverhalten und Alterung	230
6.4 Löten	187	8.7 Verarbeitung von Kunststoffen	230
7 Hydrauliksysteme in Maschinen	188	9 Verbundwerkstoffe	231
8 Pneumatik im Chemiebetrieb	190	10 Nichtmetallische anorganische Werkstoffe	232
IV Werkstofftechnik für Chemieanlagen	192	10.1 Chemieapparateglas	232
1 Einteilung der Werk- und Hilfsstoffe	192	10.2 Chemieapparate-Email	232
2 Eigenschaften der Werkstoffe	194	10.3 Keramische Werkstoffe	233
2.1 Physikalische Eigenschaften	194	10.4 Chemisch beständige Ausmauerungen	233
2.2 Mechanische Eigenschaften	195	10.5 Grafit und Kohlewerkstoffe	233
2.3 Chemisch-technologische Eigenschaften	196	11 Schmierstoffe	234
2.4 Fertigungstechnische Eigenschaften	197	11.1 Schmieröle	234
2.5 Umweltverträglichkeit	197	11.2 Schmierfette	235
3 Stähle	198	11.3 Feste Schmierstoffe	235
3.1 Baustähle für mechanische Beanspruchung	198	V Messtechnik in Chemieanlagen	236
3.2 Baustähle für mechanische und thermische Belastung	201	1 Temperaturmessung	238
3.3 Baustähle für chemische Belastung: Die nichtrostenden Stähle	202	1.1 Temperaturskalen	238
3.4 Werkzeugstähle	204	1.2 Mechanische Temperaturmessgeräte	239
4 Gusseisen und Stahlguss	206	1.3 Widerstandsthermometer	240
4.1 Gusseisen	206	1.4 Thermoelemente	241
4.2 Stahlguss	207	1.5 Strahlungspyrometer	242
5 Nichteisenmetalle (NE-Metalle)	208	1.6 Übersicht: Einsatzbereiche der Temperatur-Messgeräte	242
5.1 Aluminium und Aluminiumlegierungen	208	2 Druckmessung	243
5.2 Kupfer und Kupferlegierungen	209	2.1 Definition, Einheiten, Umrechnung	243
5.3 Nickel-Werkstoffe	210	2.2 Druckkarten	243
5.4 Titan (Ti)	211	2.3 U-Rohr-Manometer	244
5.5 Blei (Pb)	211	2.4 Federmanometer	244
5.6 Die Sondermetalle Zirkonium (Zr) und Tantal (Ta)	212	2.5 Drucksensoren	245
5.7 Zink (Zn)	212	2.6 Druckdifferenzmessung	246
5.8 Zinn (Sn)	212	2.7 Druckmittler, Druckwächter	246
6 Korrosion und Korrosionsschutz	213	2.8 Besonderheiten der Druckmessung	247
6.1 Chemische Korrosion	213	3 Füllstandsmessung	249
6.2 Elektrochemische Korrosion	213	3.1 Füllstandsmessgeräte für Flüssigkeiten	249
6.3 Korrosionsarten und Erscheinungsbild	215	3.1.1 Mechanische Füllstandsmessgeräte	249
6.4 Korrosionsbeständigkeit der metallischen Werkstoffe	217	3.1.2 Hydrostatische Füllstandsmessung	250
6.5 Auswahl geeigneter Werkstoffe	217	3.1.3 Ultraschall-Füllstandsmessung	251
		3.1.4 Kapazitive Füllstandsmessung	251
		3.1.5 Füllstandsmessung mit Radar	252

	Seite		Seite
3.2 Füllstand-Grenzwertschalter für Flüssigkeiten	252	4.2.2 Wärmeleitfähigkeits-Sensoren	289
3.3 Füllstandsmessgeräte und Grenzschalter für Schüttgüter	253	4.2.3 Katalytische Wärmetönungs-Sensoren	289
3.4 Rauminhale von Behältern	255	4.2.4 Elektrochemische Sensoren	289
3.5 Gasmengenbestimmung in Tanks	256	4.2.5 Technische Gasanalysegeräte	290
4 Durchflussmessung und Mengenmessung	257	5 Messung von Luftbestandteilen	290
4.1 Durchflussmesser	258	5.1 Sauerstoffgehalt und Luftschaadstoffe	290
4.1.1 Schwebekörper-Durchflussmesser	258	5.2 Explosionsgrenzen	290
4.1.2 Durchflussmesser mit Messblende	258	5.3 Luftfeuchtigkeitsmessung	291
4.1.3 Wirbel-Durchflussmesser	259	5.4 Rauch- und Staubkonzentrations-messung	291
4.1.4 Schwingungs-Durchflussmesser	259	6 Qualitätssicherung im Chemiebetrieb	292
4.1.5 Ultraschall-Durchflussmesser	260	6.1 Qualitätsmanagement	292
4.1.6 Magnetisch-induktiver Durchflussmesser	260	6.2 Qualitätsmanagementsysteme	292
4.1.7 Coriolis-Massedurchflussmesser	261	6.3 Werkzeuge der Qualitätssicherung	294
4.1.8 Thermischer Durchflussmesser	261	6.3.1 Checklisten	294
4.1.9 Turbinenrad-Durchflussmesser	262	6.3.2 Fehlersammelkarte und Datensammel-karte	294
4.1.10 Flügelrad-Durchflussmesser	262	6.3.3 Histogramme	295
4.2 Mengenmesser für strömende Fluide	262	6.3.4 Verteilungskurve und statistische Kennwerte	295
4.3 Strömungsanzeiger, Durchflusswächter	264	6.3.5 Vorberechnungen für die Datensammel-karte	296
5 Messwerterfassung, Verarbeitung und Anzeige	265	6.3.6 Pareto-Analyse (ABC-Analyse)	296
6 Darstellung und Benennung von Messstellen	268	6.3.7 Ishikawa-Diagramm	297
VI Bestimmung von Stoff-, Produkt- und Umgebungseigenschaften	269	6.3.8 Prozessregelung mit Qualitätsregelkarte	298
1 Probenahme	269	6.3.9 Übersicht der Qualitätswerzeuge	300
1.1 Probenahme von Flüssigkeiten	270		
2.1 Probenahme von Feststoffen	270		
2 Bestimmen der Eigenschaften von Feststoffen	271		
2.1 Bestimmen der Masse	271	VII Aufbereitungstechnik	301
2.2 Bestimmen der Dichte	273	1 Beschreibung von Schüttgütern	302
2.3 Bestimmen der Feuchtigkeit	274	1.1 Größe von Partikeln in Schüttgut	302
2.4 Bestimmung der Partikelgrößen von Schüttgütern	272	1.2 Oberflächen von Schüttgütern	302
2.4.1 Probenahme zur Siebanalyse	275	1.3 Charakterisierung eines Schüttguts	303
2.4.2 Siebanalyse	276	1.4 Verteilungsdichtekurven von Schütt-gütern	304
2.4.3 Auswertung der Siebanalyse	277	2 Zerkleinern von Feststoffen	305
2.4.4 RRSB-Körnungsnetz	279	2.1 Physikalische Grundlagen	305
3 Messung der Eigenschaften und Bestandteilen von Flüssigkeiten	281	2.2 Zerkleinerungsverfahren	306
3.1 Messung der Dichte von Flüssigkeiten	281	2.3 Brecher	306
3.2 Viskositätsmessung	282	2.4 Mühlen	308
3.3 Messung der elektrischen Leitfähigkeit	283	2.5 Schneidmühlen, Granulatoren	310
3.4 Messung des pH-Werts	283	2.6 Zerkleinerungsanlagen	310
3.5 Messung des Redox-Potentials	284	3 Flüssigkeitszerteilung	311
3.6 Anwendungen der Leitfähigkeits- und pH-Wert-Messung	285	3.1 Berieseln, Versprühen	312
3.7 Messung des gelösten Sauerstoffs in Wasser	286	3.2 Zerstäuben, Verdüsen	312
3.8 Messung der Trübung in Flüssigkeiten	286	4 Agglomrieren (Zusammenfügen)	313
4 Analysenverfahren für Gase und Flüssigkeiten	287	4.1 Aufbaugranulieren (Pelletieren)	313
4.1 Chromatografische Analyse	287	4.2 Formpressen	315
4.2 Analyse mit Sensoren	288	4.3 Sintern	316
4.2.1 Infrarot-Absorptions-Sensoren	288	5 Mischen (Stoffvereinigen)	317
		5.1 Mechanisches Rühren von Flüssigkeiten	318
		5.1.1 Rührbehälter	318
		5.1.2 Rührwerk	320
		5.1.3 Rührer	321
		5.1.4 Strömungsvorgänge im Rührbehälter	322
		5.1.5 Verfahrenstechnische Operationen	
		durch Rühren	323
		5.2 Pneumatisches Rühren	325
		5.3 Strömungsmischer	325
		5.4 Kneten, Anteigen	327
		5.5 Mischen von Feststoffschüttungen	329

	Seite		Seite
VIII Heiz- und Kühltechnik	331		
1 Wärme – eine Energieart	331	2.2.2 Absatzweise betriebene Filterapparate	373
1.1 Wärmeeinheiten	331	2.2.3 Kontinuierlich arbeitende Filterapparate	375
1.2 Wärmemengen	331	2.3 Auspressen	377
1.3 Umwandlungswärmen	332	2.4 Zentrifugieren	378
1.4 Gesamtwärmemenge	333	2.4.1 Wirkprinzip	378
1.5 Temperaturen von Mischungen	334	2.4.2 Absatzweise Filtrierzentrifugen	379
2 Energieträger im Chemiebetrieb	335	2.4.3 Kontinuierliche Filtrierzentrifugen	380
2.1 Brennstoffe	335	2.4.4 Sedimentierzentrifugen	380
2.2 Elektrischer Strom	336	2.4.5 Industrielle Zentrifugieranlage	383
2.3 Wasserdampf	337		
2.4 Heizflüssigkeiten	339		
2.5 Gasförmige und feste Wärmeträger	339		
2.6 Kühl- und Kältemittel	339		
2.7 Druckluft und Vakuum	340		
3 Wärmeübertragung	341		
3.1 Physikalische Grundlagen	341	1 Entstaubung	387
3.2 Wärmeübertragung in der Chemietechnik	342	1.1 Mechanische Entstaubung	388
3.3 Wärmeleitung	342	1.2 Nassentstaubung	391
3.4 Wärmeübergang	343	1.3 Filtrationsentstaubung	391
3.5 Wärmedurchgang	344	1.4 Elektroentstaubung	392
3.6 Wärmestrahlung	345	1.5 Entstaubungsanlage	393
3.7 Stoffführung in Wärmetauschern	346		
4 Wärmetauscher	348	2 Abscheidung feinverteilter Flüssigkeitströpfchen	394
4.1 Rohrbündel-Wärmetauscher	348		
4.2 Rohrschlangen-Wärmetauscher	349	3 Abscheidung von Fremdgasen	395
4.3 Doppelrohr-Wärmetauscher	350	3.1 Fremdgasabscheidung durch Kondensation	395
4.4 Spiral-Wärmetauscher	350	3.2 Gasreinigung durch Absorption	396
4.5 Platten-Wärmetauscher	350	3.3 Gasreinigung durch Adsorption	400
5 Kondensatoren	351	3.4 Gasreinigung durch Dampfpermeation	399
5.1 Oberflächenkondensatoren	351	3.5 Katalytische Gasreinigung	404
5.2 Mischkondensatoren	352	3.6 Abluftreinigung durch Verbrennung	405
6 Heizen und Kühlen von Rührbehältern	353		
6.1 Indirekte Wärmeübertragung	353		
6.2 Direkte Wärmeübertragung	353		
6.3 Heiz-/Kühl-Systeme bei Rührbehältern	354		
7 Energieeinsparung bei Wärmeaustauschverfahren	355		
8 Kühlen mit Luft und Rieselwasser	356		
IX Mechanische Trennverfahren	359		
1 Mechanische Trennverfahren für Feststoff-Gemische	359		
1.1 Sortieren	361	1 Trocknen	407
1.1.1 Dichtesortieren	361	1.1 Physikalische Grundlagen	407
1.1.2 Flotieren	362	1.2 <i>h</i> -X-Diagramm der Trocknung	410
1.1.3 Magnetsortieren	363	1.3 Trocknungsverfahren	412
1.2 Klassieren	364	1.4 Trockner für Feststoffschrüttungen	413
1.2.1 Sieben	364	1.5 Trockner für Flüssigkeiten und Suspensionen	415
1.2.2 Sichten (Windsichten)	366	1.6 Vakuumgefriertrocknung	417
1.2.3 Stromklassieren (Hydroklassieren)	368	1.7 Industrielle Trocknungsanlage	418
2 Mechanische Trennverfahren für Feststoff/Flüssigkeits-Gemische	369		
2.1 Absetzen, Sedimentieren, Flockung	369	2 Thermische Trennung von Lösungen	420
2.2 Filtrieren	372	2.1 Verdampfen	420
2.2.1 Wirkprinzip	372	2.1.1 Verdampfen reiner Lösemittel	420
		2.1.2 Eindampfen von Lösungen	421
		2.1.3 Vorgänge im Verdampfer	421
		2.1.4 Absatzweise und kontinuierliche Eindampfung	422
		2.1.5 Verdampferbauarten	423
		2.1.6 Verdampferanlagen	425
		2.2 Kristallisieren aus Lösungen	427
		2.2.1 Physikalische Grundlagen	427
		2.2.2 Kristallisationsverfahren	428
		2.2.3 Kristallisationsapparate	429
		2.3 Aussalzen, Verdünnen, Ausfällen	432
		2.4 Ausfrieren (Kaltkonzentrieren)	432

	Seite		Seite
3 Thermische Trennung von Flüssigkeitsgemischen	434	2.2 Absatzweise arbeitende Flüssig/Flüssig-Extraktionsanlagen	475
3.1 Physikalische Grundlagen	434	2.3 Kontinuierliche Flüssig-Flüssig-Extraktionsanlagen	476
3.1.1 Siedeverhalten von Flüssigkeiten	434	2.4 Extraktionsleistung von Kolonnen	478
3.1.2 Siedeverhalten von Flüssigkeitsgemischen	434	3 Ionenaustausch-Verfahren	479
3.1.3 Dampfdruck von Flüssigkeitsgemischen	435	3.1 Physikalisch-chemische Grundlagen	479
3.1.4 Siedediagramm	437	3.2 Wasser-Vollentsalzung	480
3.1.5 Gleichgewichtsdiagramm	437	3.3 Wasserenthärtung	481
3.2 Destillieren	438	3.4 Abwasserentgiftung	481
3.2.1 Absatzweise einfache Destillation	438	3.5 Ionenaustauscheranlagen	481
3.2.2 Destillierverhalten verschiedener Flüssigkeitsgemische	439	4 Membran-Trenntechnologie	483
3.2.3 Absatzweise fraktionierte Destillation	440	4.1 Einteilung der Flüssig/Flüssig-Membran-Trennverfahren	483
3.2.4 Kontinuierliche einfache Destillation	440	4.2 Flüssig/Flüssig-Membran-Trennverfahren	484
3.2.5 Wasserdampfdestillation	441	4.2.1 Umkehrosmose	484
3.3 Rektifizieren	443	4.2.2 Nanofiltration	484
3.3.1 Vorgänge beim Rektifizieren	443	4.2.3 Ultrafiltration	485
3.3.2 Rektifikationskolonnen mit Austauschböden	445	4.2.4 Mikrofiltration	485
3.3.3 Änderung der Zusammensetzung in einer Rektifikationskolonne	446	4.3 Apparate der Membran-Trennverfahren	485
3.3.4 Theoretische Trennstufenzahl	447	4.4 Anlagen mit Membran-Trennverfahren	487
3.3.5 Bodenwirkungsgrad und erforderliche Anzahl der Austauschböden	447	4.5 Pervaporation	488
3.3.6 Rücklaufverhältnis	448	4.6 Dampfpermeation	489
3.3.7 Rektifikationskolonnen mit Füllkörpern und Packungen	448	XIII Steuerungs-, Regelungs- und Prozessleittechnik	490
3.4 Rektifikationsverfahren	450	1 Übersicht und Begriffe	490
3.4.1 Absatzweise Rektifikation	450	2 Regelungstechnik	492
3.4.2 Kontinuierliche Rektifikation	451	2.1 Grundlagen	492
3.4.3 Arten des Gemischzulaufs	452	2.2 Darstellung und Bezeichnung von Mess-, Steuer- und Regelstellen	494
3.4.4 Bestimmung der Trennstufenzahl	453	2.3 Beispiele für EMSR-Stellen in Chemieanlagen	496
3.4.5 Einfluss der Höhe des Gemischzulaufs	455	2.4 Regelstrecken	498
3.5 Rektifizieren von Mehrstoffgemischen	456	2.4.1 Statisches Verhalten	498
3.6 Rektifizieren temperaturempfindlicher Gemische	457	2.4.2 Dynamisches Verhalten	499
3.7 Raffinierung des Erdöls	458	2.5 Darstellung der Funktionselemente von Regeleinrichtungen	500
3.8 Rektifikation azeotroper und eng siedender Gemische	460	2.6 Regler	502
3.8.1 Siedeverhalten azeotroper Gemische	460	2.6.1 Zeitverhalten stetiger Reglertypen	502
3.8.2 Zweidruck-Azeotrop-Rektifikation	461	2.6.2 Vergleich und Einsatz der Reglertypen	504
3.8.3 Azeotrop-Rektifikation mit Hilfsstoff	462	2.6.3 Unstetige Regler	505
3.8.4 Extraktiv-Rektifikation	463	2.6.4 Regelgeräte	506
3.9 Kombinierte Rektifikationsverfahren	465	2.6.5 Regler ohne Hilfsenergie	507
3.10 Wärmeenergieeinsparung beim Betrieb von Rektifikationsanlagen	465	2.7 Regelaufgaben in Chemieanlagen	508
3.11 Regelung von Rektifikationsanlagen	465	2.7.1 Temperaturregelungen	508
XII Physikalisch-chemische Trennverfahren	466	2.7.2 Druckregelungen	509
1 Feststoffextraktion	467	2.7.3 Durchflussregelungen	511
1.1 Vorgänge und Begriffe	467	2.7.4 Mengenregelung	511
1.2 Industrieller Extraktionsprozess	467	2.7.5 Füllstandsregelungen	512
1.3 Lösemittel für die Extraktion	468	2.7.6 Regelung von Analysewerten	512
1.4 Physikalische Grundlagen	468	2.7.7 Regelung einer Rektifikationsanlage	513
1.5 Stoffführung beim Feststoff-Extrahieren	469	2.8 Regelkreisverhalten und Regler-einstellung	514
1.6 Absatzweise Feststoff-Extraktoren	470	3 Steuerungstechnik	515
1.7 Kontinuierliche Feststoff-Extraktoren	472	3.1 Steuerungstechnische Grundbegriffe	515
2 Flüssig/Flüssig-Extraktion	474	3.2 Steuerungsarten	516
2.1 Physikalische Grundlagen	474	3.3 Beschreibungsarten für Steuerungsvorgänge	517

	Seite		Seite
3.3.1 Beschreibung mit Text und Skizze	517	4.2 Charakteristisches des Fließbetriebs	552
3.3.2 Darstellung von Verknüpfungen	517	4.3 Fließbetrieb mit Kreislaufführung im Reaktor	553
3.3.3 Steuerzeitplan und Schaltfolgediagramm	518	5 Reaktorkombinationen	554
3.3.4 Ablaufsteuerung eines Chargenreaktors im Schaltfolgediagramm	518	6 Hochdruck-Reaktionsapparate	554
3.4 Grundfunktionen der binären Signalverarbeitung	520	7 Reaktionsöfen	556
3.5 Funktionspläne von Ablaufsteuerungen mit GRAFCET	522	8 Elektrolyseapparate	557
3.5.1 Ablaufsteuerung einer Mischanlage	524	9 Beurteilungsgrößen für chemische Prozesse	558
3.5.2 Ablaufsteuerung einer Reaktionsanlage	525		
3.5.3 Ablaufsteuerung einer Zentrifugieranlage	527	XV Umwelttechnik im Chemiebetrieb	560
3.6 Technische Ausführung von Steuerungen	528	1 Chemieproduktion und Umweltschutz	561
3.6.1 Mechanische Steuerungen	528	2 Umweltschutzbereich Wasser	563
3.6.2 Elektrische Steuerungen	528	2.1 Gesetzliche Bestimmungen zum Abwasser	563
3.6.3 Elektronische Steuerungen	531	2.2 Reinigungsverfahren für Abwasser	564
3.6.4 Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS	531	2.3 Auswahl des geeigneten Abwasser-Reinigungsverfahrens	568
4 Prozessleittechnik	532	2.4 Anlage zur Reinigung von Chemie-abwasser	569
4.1 Vergleich: Konventionelle EMSR-Technik – Prozessleittechnik	532	2.5 Mechanisch-biologische Abwasser-reinigung in einer kommunalen Kläranlage	570
4.2 Aufbau von Prozessleitsystemen	534	2.6 Biologische Abwasserreinigung in Hochbau-Reaktoren	572
4.2.1 Komponenten eines Prozessleitsystems	534	3 Umweltschutzbereich Luft	573
4.2.2 Prozessleitsystem einer großen Chemieanlage	535	3.1 Gesetzliche Bestimmungen zu Abgasen	573
4.2.3 Automatisierungseinheiten	536	3.2 Kombinierte Abgasverbrennung und Abluftreinigung	573
4.2.4 Eingabe/Ausgabe-Einheiten	536	3.3 Abluftreinigung durch Adsorption und Nachverbrennung	574
4.2.5 Beobachtungs- und Bedienstationen	537	3.4 Reinigung der Abgase von Verbrennungskraftwerken	575
4.2.6 Bussysteme	537	4 Beseitigung von Chemieabfällen	576
4.2.7 Managementstation	537	4.1 Gesetzliche Bestimmungen zur Abfallentsorgung	576
4.3 Darstellung des Prozessgeschehens auf dem Bildschirm	538	4.2 Behandlungsverfahren für Abfälle	570
4.3.1 Fließbilledarstellungen	538	4.3 Entsorgung der Abfälle eines Chemiebetriebs	577
4.3.2 Konfektionierte Bilder	539	4.4 Großanlage zur Verbrennung industrieller und kommunaler Abfälle	578
4.3.3 Kurvenbilder	540	4.5 Ablagerung auf Sondermülldeponien	579
4.3.4 Einblendbilder (Windows)	540	5 Produktionsintegrierter Umweltschutz	580
4.4 Bedienung eines Prozessleitsystems	541		
4.5 Funktionsumfang eines Prozessleitsystems	542		
4.5.1 Messwertaufbereitungsfunktionen	542	Lernfelder des KMK-Lehrplans für Chemikanten und Zuordnung der Buchinhalte	582
4.5.2 Regelfunktionen	542		
4.5.3 Steuerungsfunktionen	543		
4.5.4 Rezeptursteuerung von Chargenprozessen	544	Sachwortverzeichnis (mit englischer Übersetzung)	587
4.5.5 Steuerung von Rohrleitungssnetzen	546		
4.5.6 Überwachungsfunktionen	546		
4.5.7 Instandhaltungs-Management	547		
XIV Chemische Reaktionstechnik	548	Bildnachweise und Quellenverzeichnis	614
1 Reaktionsverfahren	549		
2 Einflussgrößen auf die Reaktion	549		
3 Chargenbetrieb	550		
3.1 Reaktionsbehälter	550		
3.2 Charakteristisches des Chargenbetriebs	551		
4 Fließbetrieb	552		
4.1 Reaktionsapparate für Fließbetrieb	552		

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 Standard erhöht, neue Arbeitsplätze geschaffen, bessere Produkte ermöglicht, höhere Ernterträge 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 Trinkwasseraufbereitung 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.

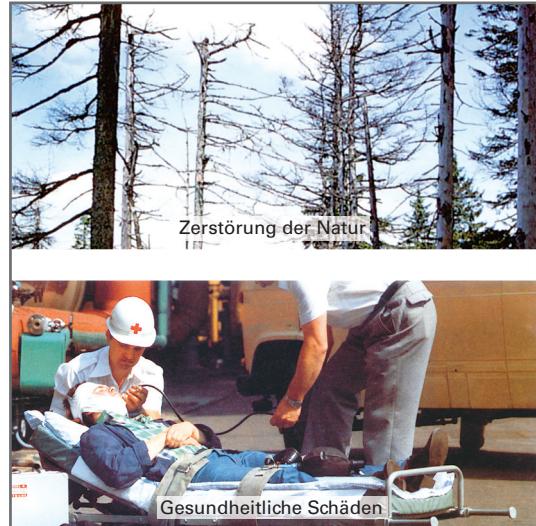


Bild 2: Umweltschäden

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 560 bis 581). 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 (Hinweischilder) auf Gefahren aufmerksam und fordern zu bestimmtem Sicherheitsverhalten auf. Sie sind unbedingt zu beachten. Es gibt verschiedene Kategorien von Sicherheitszeichen.

Verbotszeichen

Die Verbotszeichen verbieten die Handlung, die auf dem Verbottsschild als Bild gezeigt ist (**Bild 1**). Verbotszeichen 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 Verbottsschilder 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.

Verbottsschilder müssen unbedingt befolgt werden.



Bild 1: Verbotszeichen

Warnzeichen

Die Warnzeichen geben Hinweise auf mögliche Gefahren, wie z. B. Feuer- und Explosionsgefahr, giftige oder ätzende Stoffe, radioaktive Strahlen, schwelende 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!



Bild 1: Warnzeichen

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.



Bild 2: Gebotszeichen

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 136 bis 147.



Bild 3: Rettungszeichen

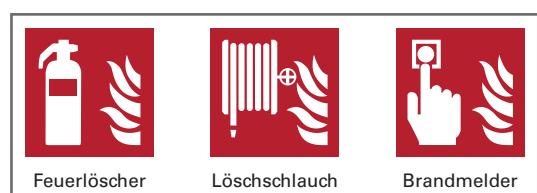


Bild 4: Brandschutzzeichen

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 Bedingungen und Apparaten.
- Die **chemische Verfahrenstechnik**. Sie beschäftigt sich mit den einzelnen Verfahrensschritten. Man bezeichnet sie als **verfahrenstechnische Grundoperation** oder englisch **unit operations**, die zur technischen Durchführung eines chemischen Produktionsprozesses erforderlich sind. 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 Maschinentechnik**. 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.

Maschinen, 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: 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.

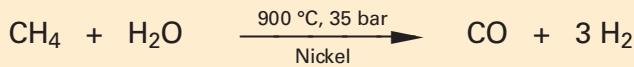
Es sollen die beiden Stoffe **A** und **B** bei ganz bestimmten Temperatur- und Druckbedingungen zu den Stoffen **C** und **D** reagieren.

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**).

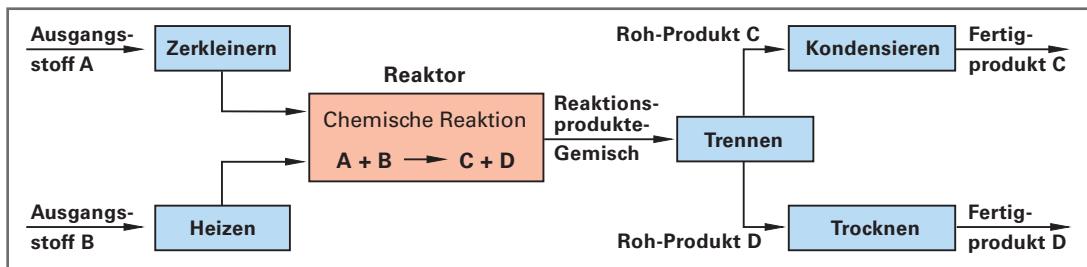


Bild 1: Grundfließschema eines chemischen Produktionsvorgangs

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 **Verfahrensfließschema** (auch Verfahrensfließbild 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 (Seiten 116 bis 125). Charakteristische Betriebsbedingungen und die Angabe der wichtigsten Stoffströme vervollständigen das Verfahrensfließbild.

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).

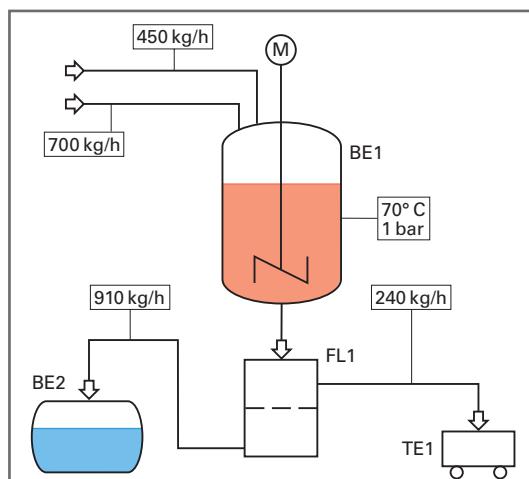


Bild 2: Verfahrensfließschema einer Anlage

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 **Batchprocess** 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 (**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.

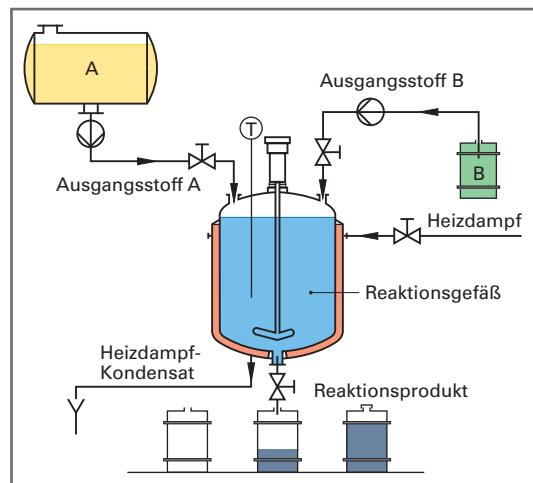


Bild 1: Chemieanlage für Chargenbetrieb (Beispiel)

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.

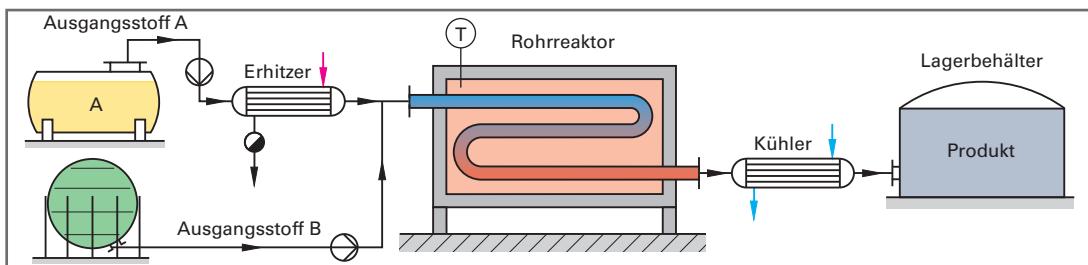


Bild 2: Kontinuierlich betriebene Chemieanlage (Beispiel)

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 halbtechnischen **Technikumsanlage** (auch Pilotanlage genannt), in der die Übertragung des chemischen Prozesses in die Produktion vorbereitet wird (Bild 2).

Die halbtechnische 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 Apparateile 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 halbtechnischen 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 halbtechnischen 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 Apparate (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.

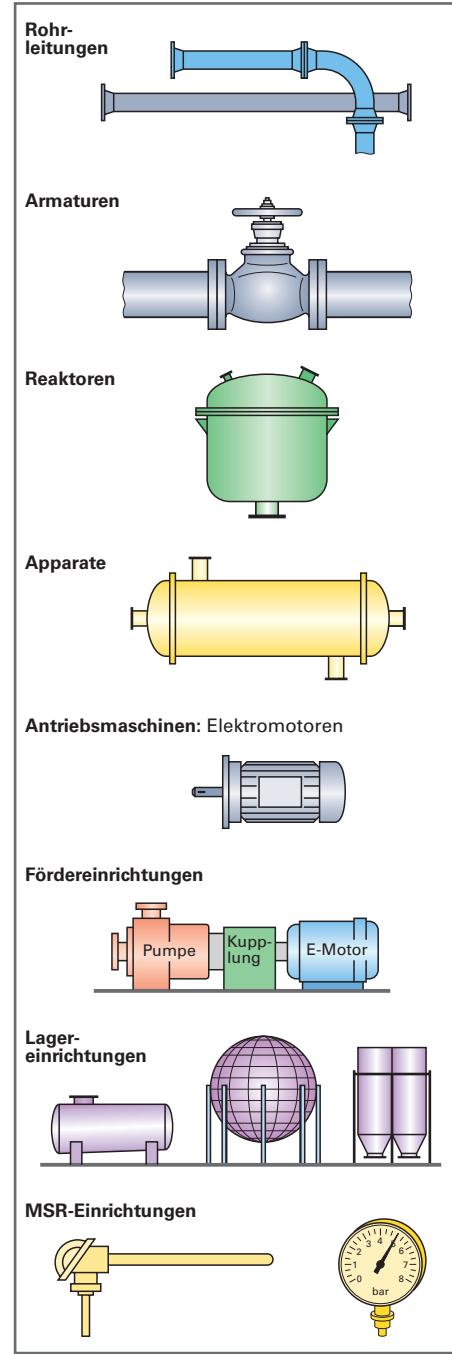


Bild 1: Grundelemente von Chemieanlagen

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 DN-Stufen nach DIN EN ISO 6708 sind:

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

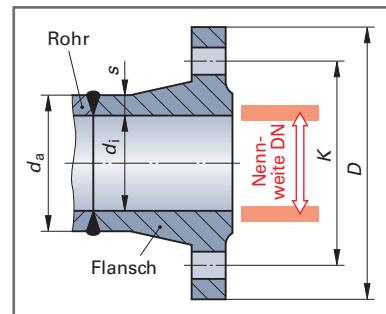


Bild 2: Rohrmaße

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

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

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.

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 den jeweils höheren Nenndruck, also hier PN 25. Die Armaturen und Rohrformteile für die Rohrleitung müssen ebenfalls der Druckstufe PN 25 entsprechen.

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

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.

		Nennweiten DN																	
		DN10	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100	DN125	DN150	DN200	DN250	DN300	DN350	DN400	
↓ Nenndruck-Stufen PN		PN2,5 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	323,9	355,6	406,4
↓	PN6 s	1,8	2	2,3	2,6	2,6	2,6	2,9	2,9	3,2	3,6	4	4,5	5,9	6,3	7,1	7,1	7,1	
	PN10 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	309,7	341,4	392,2	
	↓ PN 25		d_a											219,1	273	323,9		406,4	
	↓		s											6,3	7,1	8		8,8	
↓		d_i												206,5	258,8	307,9		388,8	
↓		d_a					48,3		76,1	88,9	114,3	139,7	168,3	219,1	273	323,9	355,6	406,4	
↓		s					2,9		3,2	3,6	4	4,5	5,6	7,1	8,8	11	12,5	14,2	
↓		d_i					42,5		69,7	81,7	106,3	130,7	157,1	204,9	255,4	301,9	330,6	378	

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

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

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