



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. Quote  
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](http://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](mailto:lektorat@europa-lehrmittel.de).

## Inhaltsverzeichnis

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

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

	Seite		Seite
<b>2 Lager</b>	179	6.6 Korrosionsschutzmaßnahmen	220
2.1 Gleitlager	179	6.6.1 Korrosionsschutzanstriche	220
2.2 Wälzlager	179	6.6.2 Zinkbeschichtungen	220
<b>3 Dichtungen</b>	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
<b>4 Fügeile für Maschinen und Apparate</b>	182	6.6.6 Katodischer Korrosionsschutz	222
4.1 Schraubenverbindungen	182	6.6.7 Korrosionsschutz von Al-Bauteilen	222
4.2 Schraubenarten	183	<b>7 Überwachung der Werkstoffe und Bauteile im Betrieb</b>	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	<b>8 Kunststoffe</b>	226
4.6 Stifte	184	8.1 Eigenschaften und Verwendung	226
<b>5 Deckelverschlüsse</b>	185	8.2 Technologische Einteilung	226
<b>6 Schweiß- und Lötverbindungen</b>	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
<b>7 Hydrauliksysteme in Maschinen</b>	188	<b>9 Verbundwerkstoffe</b>	231
<b>8 Pneumatik im Chemiebetrieb</b>	190	<b>10 Nichtmetallische anorganische Werkstoffe</b>	232
<b>IV Werkstofftechnik für Chemieanlagen</b>	<b>192</b>	10.1 Chemieapparatglas	232
<b>1 Einteilung der Werk- und Hilfsstoffe</b>	192	10.2 Chemieapparate-Email	232
<b>2 Eigenschaften der Werkstoffe</b>	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	<b>11 Schmierstoffe</b>	234
2.4 Fertigungstechnische Eigenschaften	197	11.1 Schmieröle	234
2.5 Umweltverträglichkeit	197	11.2 Schmierfette	235
<b>3 Stähle</b>	198	11.3 Feste Schmierstoffe	235
3.1 Baustähle für mechanische Beanspruchung	198	<b>V Messtechnik in Chemieanlagen</b>	<b>236</b>
3.2 Baustähle für mechanische und thermische Belastung	201	<b>1 Temperaturmessung</b>	238
3.3 Baustähle für chemische Belastung: Die nichtrostenden Stähle	202	1.1 Temperaturskalen	238
3.4 Werkzeugstähle	204	1.2 Mechanische Temperaturmessgeräte	239
<b>4 Gusseisen und Stahlguss</b>	206	1.3 Widerstandsthermometer	240
4.1 Gusseisen	206	1.4 Thermoelemente	241
4.2 Stahlguss	207	1.5 Strahlungspyrometer	242
<b>5 Nichteisenmetalle (NE-Metalle)</b>	208	1.6 Übersicht: Einsatzbereiche der Temperatur-Messgeräte	242
5.1 Aluminium und Aluminiumlegierungen	208	<b>2 Druckmessung</b>	243
5.2 Kupfer und Kupferlegierungen	209	2.1 Definition, Einheiten, Umrechnung	243
5.3 Nickel-Werkstoffe	210	2.2 Druckarten	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
<b>6 Korrosion und Korrosionsschutz</b>	213	2.8 Besonderheiten der Druckmessung	247
6.1 Chemische Korrosion	213	<b>3 Füllstandsmessung</b>	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 Grenzscharter für Schüttgüter	253	4.2.3	Katalytische Wärmetönungs-Sensoren	289
3.4	Rauminhalte von Behältern	255	4.2.4	Elektrochemische Sensoren	289
3.5	Gasmengenbestimmung in Tanks	256	4.2.5	Technische Gasanalysesegeräte	290
4	Durchflussmessung und Mengenmessung	257	5	Messung von Luftbestandteilen	290
4.1	Durchflussmesser	258	5.1	Sauerstoffgehalt und Luftschadstoffe	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	Ischikawa-Diagramm	297
			6.3.8	Prozessregelung mit Qualitätsregelkarte	298
			6.3.9	Übersicht der Qualitätswerkzeuge	300
VI Bestimmung von Stoff-, Produkt- und Umgebungseigenschaften		269	VII Aufbereitungstechnik		301
1	Probenahme	269	1	Beschreibung von Schüttgütern	302
1.1	Probenahme von Flüssigkeiten	270	1.1	Größe von Partikeln in Schüttgut	302
2.1	Probenahme von Feststoffen	270	1.2	Oberflächen von Schüttgütern	302
2	Bestimmen der Eigenschaften von Feststoffen	271	1.3	Charakterisierung eines Schüttguts	303
2.1	Bestimmen der Masse	271	1.4	Verteilungsdichtekurven von Schütt-gütern	304
2.2	Bestimmen der Dichte	273	2	Zerkleinern von Feststoffen	305
2.3	Bestimmen der Feuchtigkeit	274	2.1	Physikalische Grundlagen	305
2.4	Bestimmung der Partikelgrößen von Schüttgütern	272	2.2	Zerkleinerungsverfahren	306
2.4.1	Probenahme zur Siebanalyse	275	2.3	Brecher	306
2.4.2	Siebanalyse	276	2.4	Mühlen	308
2.4.3	Auswertung der Siebanalyse	277	2.5	Schneidmühlen, Granulatoren	310
2.4.4	RRSB-Körnungsnetz	279	2.6	Zerkleinerungsanlagen	310
3	Messung der Eigenschaften und Bestandteilen von Flüssigkeiten	281	3	Flüssigkeitszerteilung	311
3.1	Messung der Dichte von Flüssigkeiten	281	3.1	Berieseln, Versprühen	312
3.2	Viskositätsmessung	282	3.2	Zerstäuben, Verdüsen	312
3.3	Messung der elektrischen Leitfähigkeit	283	4	Agglomerieren (Zusammenfügen)	313
3.4	Messung des pH-Werts	283	4.1	Aufbaugranulieren (Pelletieren)	313
3.5	Messung des Redox-Potentials	284	4.2	Formpressen	315
3.6	Anwendungen der Leitfähigkeits- und pH-Wert-Messung	285	4.3	Sintern	316
3.7	Messung des gelösten Sauerstoffs in Wasser	286	5	Mischen (Stoffvereinigen)	317
3.8	Messung der Trübung in Flüssigkeiten	286	5.1	Mechanisches Rühren von Flüssigkeiten	318
4	Analysenverfahren für Gase und Flüssigkeiten	287	5.1.1	Rührbehälter	318
4.1	Chromatografische Analyse	287	5.1.2	Rührwerk	320
4.2	Analyse mit Sensoren	288	5.1.3	Rührer	321
4.2.1	Infrarot-Absorptions-Sensoren	288	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
<b>VIII Heiz- und Kühltechnik</b>	<b>331</b>	2.2.2 Absatzweise betriebene Filterapparate	373
<b>1 Wärme – eine Energieart</b>	331	2.2.3 Kontinuierlich arbeitende Filterapparate	375
1.1 Wärmeeinheiten	331	2.3 Auspressen	377
1.2 Wärmemengen	331	2.4 Zentrifugieren	378
1.3 Umwandlungswärmen	332	2.4.1 Wirkprinzip	378
1.4 Gesamtwärmemenge	333	2.4.2 Absatzweise Filtrierzentrifugen	379
1.5 Temperaturen von Mischungen	334	2.4.3 Kontinuierliche Filtrierzentrifugen	380
<b>2 Energieträger im Chemiebetrieb</b>	335	2.4.4 Sedimentierzentrifugen	380
2.1 Brennstoffe	335	2.4.5 Industrielle Zentrifugieranlage	383
2.2 Elektrischer Strom	336	<b>3 Mechanische Trennung von Emulsionen</b>	384
2.3 Wasserdampf	337	3.1 Dekantieren	384
2.4 Heizflüssigkeiten	339	3.2 Zentrifugieren	384
2.5 Gasförmige und feste Wärmeträger	339	3.3 Ultrafiltration	385
2.6 Kühl- und Kältemittel	339		
2.7 Druckluft und Vakuum	340	<b>X Entstaubung und Abgasreinigung</b>	<b>386</b>
<b>3 Wärmeübertragung</b>	341	<b>1 Entstaubung</b>	387
3.1 Physikalische Grundlagen	341	1.1 Mechanische Entstaubung	388
3.2 Wärmeübertragung in der Chemietechnik	342	1.2 Nassentstaubung	391
3.3 Wärmeleitung	342	1.3 Filtrationsentstaubung	391
3.4 Wärmeübergang	343	1.4 Elektroentstaubung	392
3.5 Wärmedurchgang	344	1.5 Entstaubungsanlage	393
3.6 Wärmestrahlung	345	<b>2 Abscheidung feinverteilter Flüssigkeits-tröpfchen</b>	394
3.7 Stoffführung in Wärmetauschern	346	<b>3 Abscheidung von Fremdgasen</b>	395
<b>4 Wärmetauscher</b>	348	3.1 Fremdgasabscheidung durch Kondensation	395
4.1 Rohrbündel-Wärmetauscher	348	3.2 Gasreinigung durch Absorption	396
4.2 Rohrschlangen-Wärmetauscher	349	3.3 Gasreinigung durch Adsorption	400
4.3 Doppelrohr-Wärmetauscher	350	3.4 Gasreinigung durch Dampfpermeation	399
4.4 Spiral-Wärmetauscher	350	3.5 Katalytische Gasreinigung	404
4.5 Platten-Wärmetauscher	350	3.6 Abluftreinigung durch Verbrennung	405
<b>5 Kondensatoren</b>	351		
5.1 Oberflächenkondensatoren	351	<b>XI Thermische Trennverfahren</b>	<b>406</b>
5.2 Mischkondensatoren	352	<b>1 Trocknen</b>	407
<b>6 Heizen und Kühlen von Ruhrbehältern</b>	353	1.1 Physikalische Grundlagen	407
6.1 Indirekte Wärmeübertragung	353	1.2 $h$ - $X$ -Diagramm der Trocknung	410
6.2 Direkte Wärmeübertragung	353	1.3 Trocknungsverfahren	412
6.3 Heiz-/Kühl-Systeme bei Ruhrbehältern	354	1.4 Trockner für Feststoffschüttungen	413
<b>7 Energieeinsparung bei Wärmeaustausch-verfahren</b>	355	1.5 Trockner für Flüssigkeiten und Suspensionen	415
<b>8 Kühlen mit Luft und Rieselwasser</b>	356	1.6 Vakuumgefrieretrocknung	417
		1.7 Industrielle Trocknungsanlage	418
<b>IX Mechanische Trennverfahren</b>	<b>359</b>	<b>2 Thermische Trennung von Lösungen</b>	420
<b>1 Mechanische Trennverfahren für Feststoff-Gemische</b>	359	2.1 Verdampfen	420
1.1 Sortieren	361	2.1.1 Verdampfen reiner Lösemittel	420
1.1.1 Dichtesortieren	361	2.1.2 Eindampfen von Lösungen	421
1.1.2 Flotieren	362	2.1.3 Vorgänge im Verdampfer	421
1.1.3 Magnetsortieren	363	2.1.4 Absatzweise und kontinuierliche Eindampfung	422
1.2 Klassieren	364	2.1.5 Verdampferbauarten	423
1.2.1 Sieben	364	2.1.6 Verdampferanlagen	425
1.2.2 Sichten (Windsichten)	366	2.2 Kristallisieren aus Lösungen	427
1.2.3 Stromklassieren (Hydroklassieren)	368	2.2.1 Physikalische Grundlagen	427
<b>2 Mechanische Trennverfahren für Feststoff/Flüssigkeits-Gemische</b>	369	2.2.2 Kristallisationsverfahren	428
2.1 Absetzen, Sedimentieren, Flockung	369	2.2.3 Kristallisationsapparate	429
2.2 Filtrieren	372	2.3 Aussalzen, Verdünnen, Ausfällen	432
2.2.1 Wirkprinzip	372	2.4 Ausfrieren (Kaltkonzentrieren)	432



	Seite		Seite
<b>3 Thermische Trennung von Flüssigkeitsgemischen</b>	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	<b>3 Ionenaustausch-Verfahren</b>	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	<b>4 Membran-Trenntechnologie</b>	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 Dampferpermeation	489
3.3.7 Rektifikationskolonnen mit Füllkörpern und Packungen	448		
3.4 Rektifikationsverfahren	450	<b>XIII Steuerungs-, Regelungs- und Prozessleittechnik</b>	<b>490</b>
3.4.1 Absatzweise Rektifikation	450	<b>1 Übersicht und Begriffe</b>	490
3.4.2 Kontinuierliche Rektifikation	451	<b>2 Regelungstechnik</b>	492
3.4.3 Arten des Gemischzulaufs	452	2.1 Grundlagen	492
3.4.4 Bestimmung der Trennstufenzahl	453	2.2 Darstellung und Bezeichnung von Mess-, Steuer- und Regelstellen	494
3.4.5 Einfluss der Höhe des Gemischzulaufs	455	2.3 Beispiele für EMSR-Stellen in Chemieanlagen	496
3.5 Rektifizieren von Mehrstoffgemischen	456	2.4 Regelstrecken	498
3.6 Rektifizieren temperaturempfindlicher Gemische	457	2.4.1 Statisches Verhalten	498
3.7 Raffinierung des Erdöls	458	2.4.2 Dynamisches Verhalten	499
3.8 Rektifikation azeotroper und eng siedender Gemische	460	2.5 Darstellung der Funktionselemente von Regeleinrichtungen	500
3.8.1 Siedeverhalten azeotroper Gemische	460	2.6 Regler	502
3.8.2 Zweidruck-Azeotrop-Rektifikation	461	2.6.1 Zeitverhalten stetiger Reglertypen	502
3.8.3 Azeotrop-Rektifikation mit Hilfsstoff	462	2.6.2 Vergleich und Einsatz der Reglertypen	504
3.8.4 Extraktiv-Rektifikation	463	2.6.3 Unstetige Regler	505
3.9 Kombinierte Rektifikationsverfahren	465	2.6.4 Regelgeräte	506
3.10 Wärmeenergieeinsparung beim Betrieb von Rektifikationsanlagen	465	2.6.5 Regler ohne Hilfsenergie	507
3.11 Regelung von Rektifikationsanlagen	465	2.7 Regelaufgaben in Chemieanlagen	508
		2.7.1 Temperaturregelungen	508
<b>XII Physikalisch-chemische Trennverfahren</b>	<b>466</b>	2.7.2 Druckregelungen	509
<b>1 Feststoffextraktion</b>	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 Reglereinstellung	514
1.6 Absatzweise Feststoff-Extraktoren	470	<b>3 Steuerungstechnik</b>	515
1.7 Kontinuierliche Feststoff-Extraktoren	472	3.1 Steuerungstechnische Grundbegriffe	515
<b>2 Flüssig/Flüssig-Extraktion</b>	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	<b>5 Reaktorkombinationen</b>	554
3.3.4 Ablaufsteuerung eines Charginreaktors im Schaltfolgediagramm	518	<b>6 Hochdruck-Reaktionsapparate</b>	554
3.4 Grundfunktionen der binären Signalverarbeitung	520	<b>7 Reaktionsöfen</b>	556
3.5 Funktionspläne von Ablaufsteuerungen mit GRAFCET	522	<b>8 Elektrolyseapparate</b>	557
3.5.1 Ablaufsteuerung einer Mischanlage	524	<b>9 Beurteilungsgrößen für chemische Prozesse</b>	558
3.5.2 Ablaufsteuerung einer Reaktionsanlage	525		
3.5.3 Ablaufsteuerung einer Zentrifugieranlage	527	<b>XV Umwelttechnik im Chemiebetrieb</b>	<b>560</b>
3.6 Technische Ausführung von Steuerungen	528	<b>1 Chemieproduktion und Umweltschutz</b>	561
3.6.1 Mechanische Steuerungen	528	<b>2 Umweltschutzbereich Wasser</b>	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
<b>4 Prozessleittechnik</b>	532	2.4 Anlage zur Reinigung von Chemieabwasser	569
4.1 Vergleich: Konventionelle EMSR-Technik – Prozessleittechnik	532	2.5 Mechanisch-biologische Abwasserreinigung 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	<b>3 Umweltschutzbereich Luft</b>	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	<b>4 Beseitigung von Chemieabfällen</b>	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 Fließbilddarstellungen	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	<b>5 Produktionsintegrierter Umweltschutz</b>	580
4.4 Bedienung eines Prozessleitsystems	541		
4.5 Funktionsumfang eines Prozessleitsystems	542	<b>Lernfelder des KMK-Lehrplans für Chemikanten und Zuordnung der Buchinhalte</b>	<b>582</b>
4.5.1 Messwertaufbereitungsfunktionen	542		
4.5.2 Regelfunktionen	542	<b>Sachwortverzeichnis (mit englischer Übersetzung)</b>	<b>587</b>
4.5.3 Steuerungsfunktionen	543		
4.5.4 Rezeptursteuerung von Charginprozessen	544	<b>Bildnachweise und Quellenverzeichnis</b>	<b>614</b>
4.5.5 Steuerung von Rohrleitungsnetzen	546		
4.5.6 Überwachungsfunktionen	546		
4.5.7 Instandhaltungs-Management	547		
<b>XIV Chemische Reaktionstechnik</b>	<b>548</b>		
<b>1 Reaktionsverfahren</b>	549		
<b>2 Einflussgrößen auf die Reaktion</b>	549		
<b>3 Charginbetrieb</b>	550		
3.1 Reaktionsbehälter	550		
3.2 Charakteristisches des Charginbetriebs	551		
<b>4 Fließbetrieb</b>	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 Ernteerträge bewirkt und die Lebensqualität verbessert.



**Bild 1: Chemieprodukte**

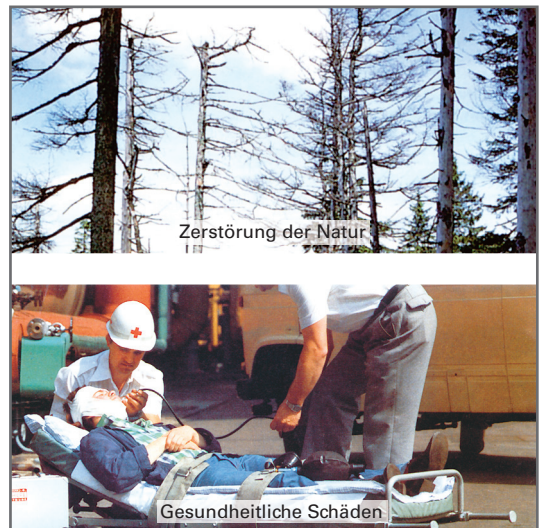
### Umweltgefährdung

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.



**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 (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 136 bis 147.



Bild 1: Warnzeichen



Bild 2: Gebotszeichen



Bild 3: Rettungszeichen

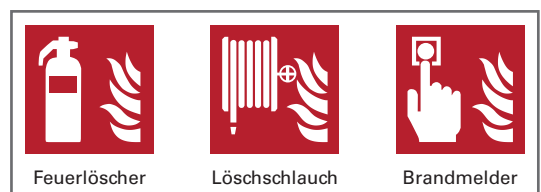


Bild 4: Brandschutzzeichen



# 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 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).



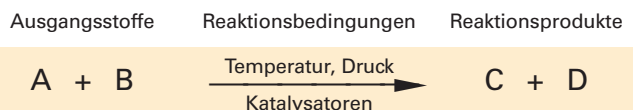
Bild 1: Chemieanlage

## 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.

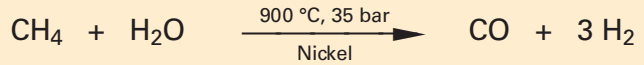
In der Chemie veranschaulicht man diesen Vorgang mit einer **chemischen Reaktionsgleichung**.





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<sub>2</sub> aus Methan und Wasser.



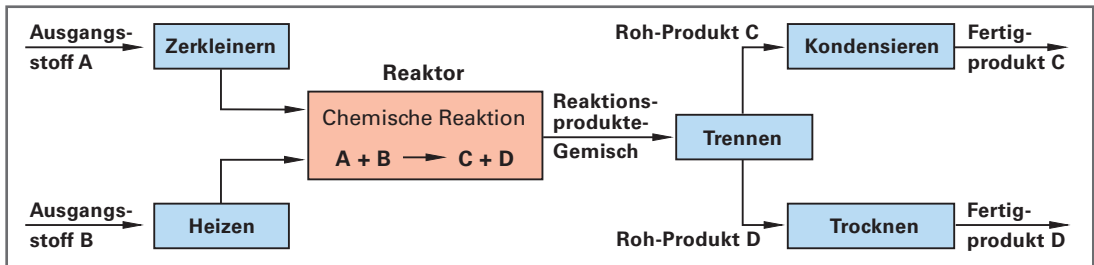
Die Vorbereitung der Ausgangsstoffe auf die chemische Reaktion und die Aufarbeitung der Reaktionsprodukte für ihre weitere Verwendung findet in der chemischen Reaktionsgleichung keine Erwähnung.

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**).

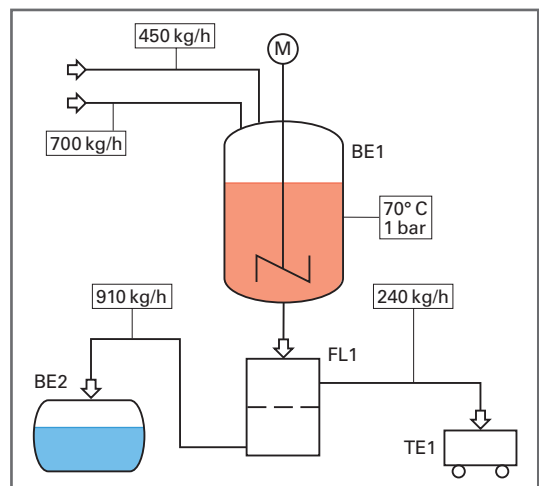


**Bild 1:** Grundfließschema eines chemischen Produktionsvorgangs

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**).

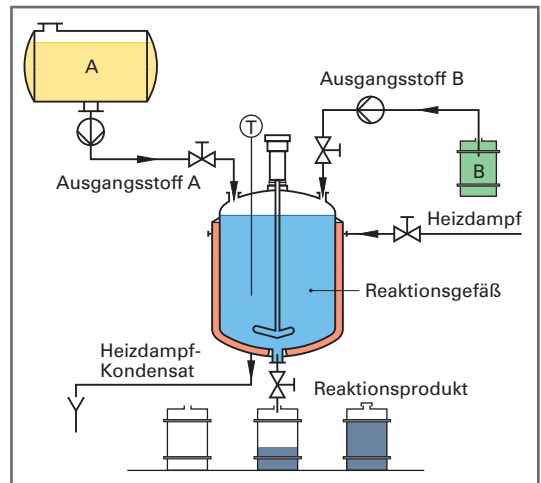
## Arbeitsweisen in der Chemietechnik

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.



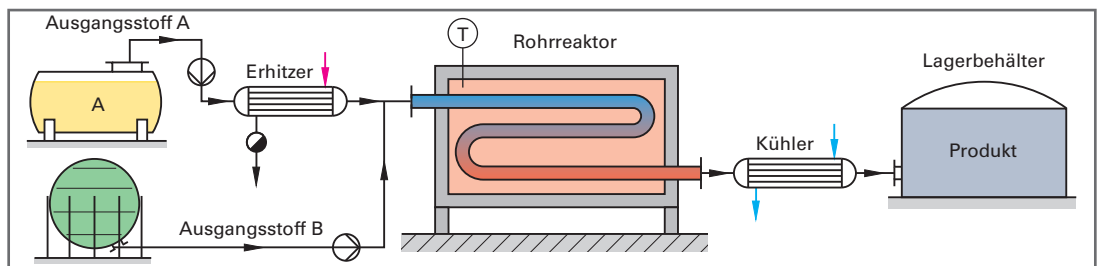
**Bild 1: Chemieanlage für Chargenbetrieb (Beispiel)**

### 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 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 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

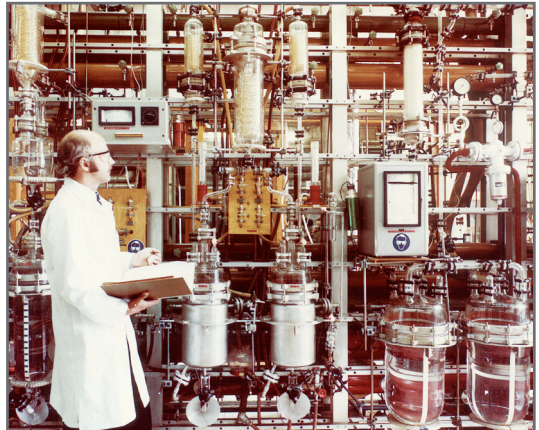


Bild 2: Optimierung der Reaktionsbedingungen in der halbtechnischen Anlage

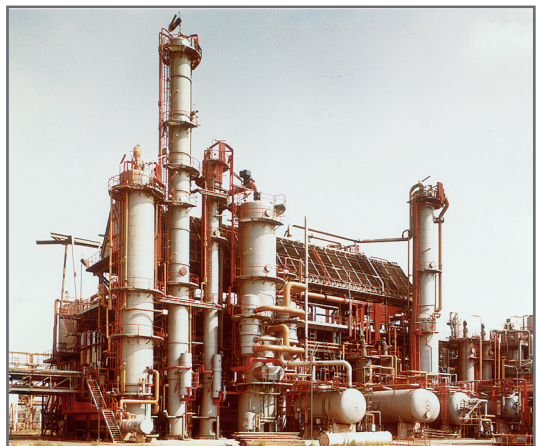


Bild 3: Produktion in der großtechnischen Chemieanlage

# 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 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

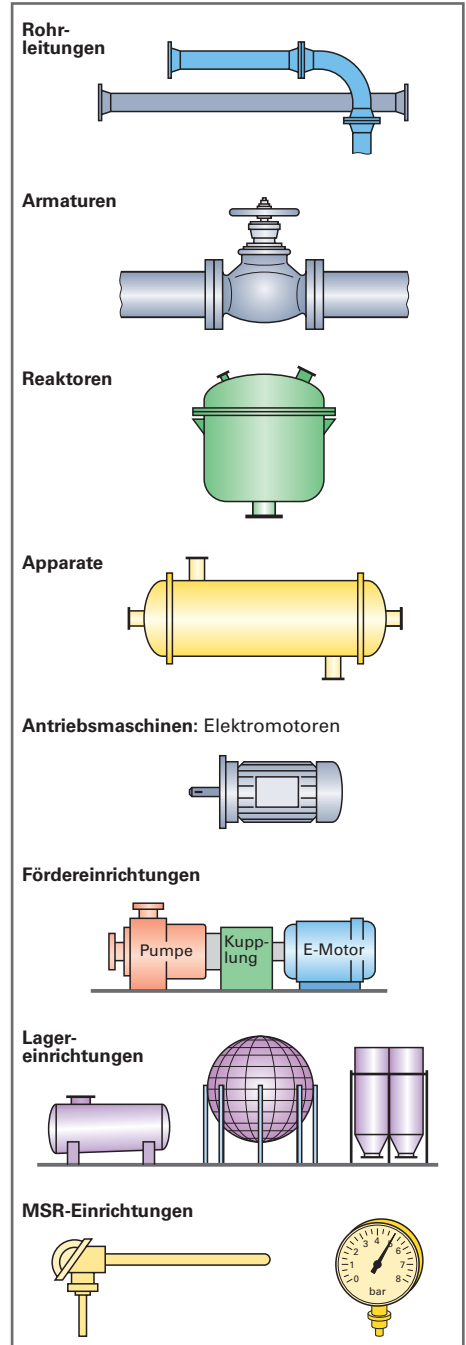
Fördereinrichtungen dienen zum Transport von Stoffen an den Ort der Produktionsanlage, wo sie gebraucht werden. Zu ihnen gehören z.B. Transportbänder, pneumatische Fördersysteme sowie Pumpen und Kompressoren.

## Lagereinrichtungen

In Lagern 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**

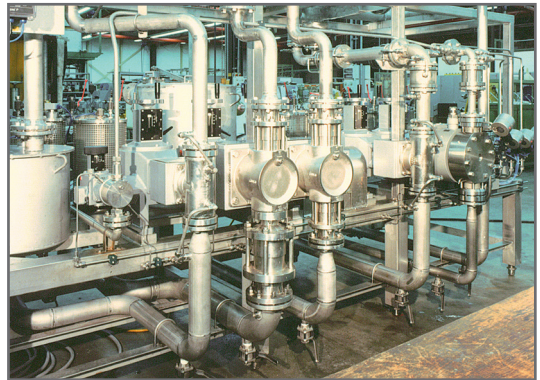


# 1 Rohrleitungen

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.

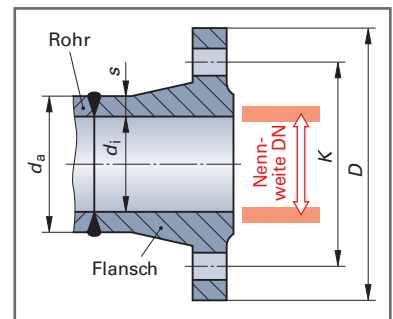
Die Nennweite wird vom Anlagenkonstrukteur gemäß der Strömungsgeschwindigkeit und dem Förderstrom festgelegt, der durch die Rohrleitung fließen soll.

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

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

**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.

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

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	DN350	DN400	
Nenndruck-Stufen PN ↓	PN 2,5	d <sub>a</sub>	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
	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	7,1	7,1	
	PN 10	d <sub>i</sub>	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 16	d <sub>a</sub>													219,1	273	323,9		406,4
	PN 25	s													6,3	7,1	8		8,8
		d <sub>i</sub>													206,5	258,8	307,9		388,8
		d <sub>a</sub>						48,3		76,1	88,9	114,3	139,7	168,3	219,1	273	323,9	355,6	406,4
	PN 63	s						2,9		3,2	3,6	4	4,5	5,6	7,1	8,8	11	12,5	14,2
		d <sub>i</sub>						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 = 10<sup>5</sup> 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

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