

Das Periodensystem der Elemente (PSE)

1 IA	1 H Wasserstoff 1,008 ¹⁾	2 IIA	2 He Helium 4,003
	3 Li Lithium 6,94 ¹⁾		3 He Helium 4,003
4	4 Be Beryllium 9,012	5 B Bor 10,81 ¹⁾	4 F Fluor 18,998
5	5 Na Natrium 22,99	6 C Kohlenstoff 12,011 ¹⁾	5 O Sauerstoff 15,999 ¹⁾
6	6 Mg Magnesium 24,305 ¹⁾	7 N Stickstoff 14,007 ¹⁾	6 S Schwefel 32,06 ¹⁾
7	7 Al Aluminium 26,982	8 O Sauerstoff 15,999 ¹⁾	7 Cl Chlor 35,45 ¹⁾
8	8 K Kalium 39,098	9 F Fluor 18,998	8 Ar Argon 39,948
9	9 Ca Calcium 40,078	10 Ne Neon 20,1797	
10	10 Sc Scandium 44,956		
11	11 Ti Titan 47,867		
12	12 V Vanadium 50,942		
13	13 Cr Chrom 51,996		
14	14 Mn Mangan 54,938		
15	15 Fe Eisen 55,845		
16	16 Co Cobalt 58,933		
17	17 Ni Nickel 58,693		
18	18 Cu Kupfer 63,546		
19	19 Zn Zink 65,38		
20	20 Ga Gallium 69,723		
21	21 Ge Germanium 72,630		
22	22 As Arsen 74,922		
23	23 Se Selen 78,971		
24	24 Br Brom 79,904 ¹⁾		
25	25 Kr Krypton 83,798		
26	26 Rb Rubidium 85,468		
27	27 Sr Strontium 87,62		
28	28 Y Yttrium 88,906		
29	29 Zr Zirkonium 91,224		
30	30 Nb Niobium 92,906		
31	31 Mo Molybdän 95,95		
32	32 Tc Technetium (98)		
33	33 Ru Ruthenium 91,224		
34	34 Rh Rhodium 101,07		
35	35 Pd Palladium 106,42		
36	36 Ag Silber 107,868		
37	37 Cd Cadmium 112,414		
38	38 In Indium 114,818		
39	39 Sn Zinn 118,710		
40	40 Sb Antimon 121,760		
41	41 Te Tellur 127,60		
42	42 I Iod 126,904		
43	43 Xe Xenon 131,293		
44	44 Cs Caesium 132,905		
45	45 Ba Barium 137,33		
46	46 La Lanthan 138,905		
47	47 Hf Hafnium 178,49		
48	48 Ta Tantal 180,948		
49	49 W Wolfram 183,84		
50	50 Re Rhenium 186,207		
51	51 Os Osmium 190,23		
52	52 Ir Iridium 192,22		
53	53 Pt Platin 195,084		
54	54 Au Gold 196,967		
55	55 Hg Quecksilber 200,592		
56	56 Tl Thallium 204,38 ¹⁾		
57	57 Pb Blei 207,2		
58	58 Bi Bismut 208,980		
59	59 Po Polonium (209)		
60	60 At Astat (210)		
61	61 Rn Radon (222)		
62	62 Fr Francium (223)		
63	63 Ra Radium (226)		
64	64 Ac Actinium (227)		
65	65 U Uran (238)		
66	66 Th Thorium (232)		
67	67 Pa Protactinium (231)		
68	68 U Uran (238)		
69	69 Th Thorium (232)		
70	70 Pa Protactinium (231)		
71	71 U Uran (238)		
72	72 Th Thorium (232)		
73	73 Pa Protactinium (231)		
74	74 U Uran (238)		
75	75 Th Thorium (232)		
76	76 Pa Protactinium (231)		
77	77 U Uran (238)		
78	78 Th Thorium (232)		
79	79 Pa Protactinium (231)		
80	80 U Uran (238)		
81	81 Th Thorium (232)		
82	82 Pa Protactinium (231)		
83	83 U Uran (238)		
84	84 Th Thorium (232)		
85	85 Pa Protactinium (231)		
86	86 U Uran (238)		
87	87 Th Thorium (232)		
88	88 Pa Protactinium (231)		
89	89 U Uran (238)		
90	90 Th Thorium (232)		
91	91 Pa Protactinium (231)		
92	92 U Uran (238)		
93	93 Th Thorium (232)		
94	94 Pa Protactinium (231)		
95	95 U Uran (238)		
96	96 Th Thorium (232)		
97	97 Pa Protactinium (231)		
98	98 U Uran (238)		
99	99 Th Thorium (232)		
100	100 Pa Protactinium (231)		
101	101 U Uran (238)		
102	102 Th Thorium (232)		
103	103 Pa Protactinium (231)		
104	104 U Uran (238)		
105	105 Th Thorium (232)		
106	106 Pa Protactinium (231)		
107	107 U Uran (238)		
108	108 Th Thorium (232)		
109	109 Pa Protactinium (231)		
110	110 U Uran (238)		
111	111 Th Thorium (232)		
112	112 Pa Protactinium (231)		
113	113 U Uran (238)		
114	114 Th Thorium (232)		
115	115 Pa Protactinium (231)		
116	116 U Uran (238)		
117	117 Th Thorium (232)		
118	118 Pa Protactinium (231)		
119	119 U Uran (238)		
120	120 Th Thorium (232)		
121	121 Pa Protactinium (231)		
122	122 U Uran (238)		
123	123 Th Thorium (232)		
124	124 Pa Protactinium (231)		
125	125 U Uran (238)		
126	126 Th Thorium (232)		
127	127 Pa Protactinium (231)		
128	128 U Uran (238)		
129	129 Th Thorium (232)		
130	130 Pa Protactinium (231)		
131	131 U Uran (238)		
132	132 Th Thorium (232)		
133	133 Pa Protactinium (231)		
134	134 U Uran (238)		
135	135 Th Thorium (232)		
136	136 Pa Protactinium (231)		
137	137 U Uran (238)		
138	138 Th Thorium (232)		
139	139 Pa Protactinium (231)		
140	140 U Uran (238)		
141	141 Th Thorium (232)		
142	142 Pa Protactinium (231)		
143	143 U Uran (238)		
144	144 Th Thorium (232)		
145	145 Pa Protactinium (231)		
146	146 U Uran (238)		
147	147 Th Thorium (232)		
148	148 Pa Protactinium (231)		
149	149 U Uran (238)		
150	150 Th Thorium (232)		
151	151 Pa Protactinium (231)		
152	152 U Uran (238)		
153	153 Th Thorium (232)		
154	154 Pa Protactinium (231)		
155	155 U Uran (238)		
156	156 Th Thorium (232)		
157	157 Pa Protactinium (231)		
158	158 U Uran (238)		
159	159 Th Thorium (232)		
160	160 Pa Protactinium (231)		
161	161 U Uran (238)		
162	162 Th Thorium (232)		
163	163 Pa Protactinium (231)		
164	164 U Uran (238)		
165	165 Th Thorium (232)		
166	166 Pa Protactinium (231)		
167	167 U Uran (238)		
168	168 Th Thorium (232)		
169	169 Pa Protactinium (231)		
170	170 U Uran (238)		
171	171 Th Thorium (232)		
172	172 Pa Protactinium (231)		
173	173 U Uran (238)		
174	174 Th Thorium (232)		
175	175 Pa Protactinium (231)		
176	176 U Uran (238)		
177	177 Th Thorium (232)		
178	178 Pa Protactinium (231)		
179	179 U Uran (238)		
180	180 Th Thorium (232)		
181	181 Pa Protactinium (231)		
182	182 U Uran (238)		
183	183 Th Thorium (232)		
184	184 Pa Protactinium (231)		
185	185 U Uran (238)		
186	186 Th Thorium (232)		
187	187 Pa Protactinium (231)		
188	188 U Uran (238)		
189	189 Th Thorium (232)		
190	190 Pa Protactinium (231)		
191	191 U Uran (238)		
192	192 Th Thorium (232)		
193	193 Pa Protactinium (231)		
194	194 U Uran (238)		
195	195 Th Thorium (232)		
196	196 Pa Protactinium (231)		
197	197 U Uran (238)		
198	198 Th Thorium (232)		
199	199 Pa Protactinium (231)		
200	200 U Uran (238)		
201	201 Th Thorium (232)		
202	202 Pa Protactinium (231)		
203	203 U Uran (238)		
204	204 Th Thorium (232)		
205	205 Pa Protactinium (231)		
206	206 U Uran (238)		
207	207 Th Thorium (232)		
208	208 Pa Protactinium (231)		
209	209 U Uran (238)		
210	210 Th Thorium (232)		
211	211 Pa Protactinium (231)		
212	212 U Uran (238)		
213	213 Th Thorium (232)		
214	214 Pa Protactinium (231)		
215	215 U Uran (238)		
216	216 Th Thorium (232)		
217	217 Pa Protactinium (231)		
218	218 U Uran (238)		
219	219 Th Thorium (232)		
220	220 Pa Protactinium (231)		
221	221 U Uran (238)		
222	222 Th Thorium (232)		
223	223 Pa Protactinium (231)		
224	224 U Uran (238)		
225	225 Th Thorium (232)		
226	226 Pa Protactinium (231)		
227	227 U Uran (238)		
228	228 Th Thorium (232)		
229	229 Pa Protactinium (231)		
230	230 U Uran (238)		
231	231 Th Thorium (232)		
232	232 Pa Protactinium (231)		
233	233 U Uran (238)		
234	234 Th Thorium (232)		
235	235 Pa Protactinium (231)		
236	236 U Uran (238)		
237	237 Th Thorium (232)		
238	238 Pa Protactinium (231)		
239	239 U Uran (238)		
240	240 Th Thorium (232)		
241	241 Pa Protactinium (231)		
242	242 U Uran (238)		
243	243 Th Thorium (232)		
244	244 Pa Protactinium (231)		
245	245 U Uran (238)		
246	246 Th Thorium (232)		
247	247 Pa Protactinium (231)		
248	248 U Uran (238)		
249	249 Th Thorium (232)		
250	250 Pa Protactinium (231)		
251	251 U Uran (238)		
252	252 Th Thorium (232)		
253	253 Pa Protactinium (231)		
254	254 U Uran (238)		
255	255 Th Thorium (232)		
256	256 Pa Protactinium (231)		
257	257 U Uran (238)		
258	258 Th Thorium (232)		
259	259 Pa Protactinium (231)		
260	260 U Uran (238)		
261	261 Th Thorium (232)		
262	262 Pa Protactinium (231)		
263			



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Chemieberufe

Tabellenbuch Chemietechnik

Daten · Formeln · Normen · Vergleichende Betrachtungen

aus den Bereichen:

Allgemeine und technische Mathematik · Physik
Chemie · Verfahrenstechnik · Werkstoffkunde
Prozessleittechnik/MSR-Technik · Arbeitssicherheit

von

Walter Bierwerth

12. erweiterte Auflage

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

Europa-Nr.: 70717

Autor:

Walter Bierwerth

Studiendirektor a. D., Dipl.-Ing.

Eppstein/Taunus

Datenrecherche:

Inge Bierwerth, Eppstein/Taunus

Redaktionelle Beratung (1. Auflage):

Dipl.-Ing. Armin Steinmüller, Verlagslektor, Haan-Gruiten

Bildbearbeitung:

Verlag Europa-Lehrmittel, Zeichenbüro, Ostfildern



Als Service für interessierte Leser bieten wir wichtige Hinweise, Aktualisierungen, Erläuterungen und Ergänzungen unter https://www.europa-lehrmittel.de/downloads-downloads/787/aktuelles_zu_tch_70717.pdf an.



Die auf den Seiten 442 beschriebene Auslegung einer Rektifikationsanlage kann unter dem Link <https://lv-soft.net/tbch> mit moderner professioneller Software nachvollzogen und durchgeführt werden.

12. erweiterte Auflage 2021

Druck 5 4 3 2 1

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

ISBN 978-3-7585-7230-2

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

© 2021 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: Daniela Schreuer, 78256 Steißlingen, www.daniela-schreuer.de

Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, Radevormwald

unter Verwendung eines Fotos von © johnmerlin – stock.adobe.com

Druck: Lensing Druck GmbH & Co. KG, 44149 Dortmund, www.lensingdruck.de

Vorwort

Das vorliegende Tabellenbuch reiht sich in die Fachbuchreihe *Chemie/Chemietechnik* im Verlag Europa-Lehrmittel ein und ergänzt dabei insbesondere das Lehrbuch *Chemietechnik*. Es wendet sich an alle Personen, die im Bereich der chemischen Industrie tätig sind, an den **Chemikanten**, **Chemielaboranten** oder **Pharmakanten** ebenso wie an den **Chemietechniker**, den **Chemieingenieur** oder den **Verfahreningenieur**, an den **Auszubildenden** ebenso wie an den **Studenten**. Es kann Letzteren helfen, sich in wichtigen Gebieten der chemischen Technik einen ersten Überblick zu verschaffen (sowohl im Hinblick auf grundlegende Daten als auch im Hinblick auf die Charakteristika verfahrenstechnischer Elemente), dem bereits im Beruf Stehenden wird es bei vielen wichtigen Entscheidungsprozessen im Betriebsalltag eine Hilfe sein, sei es bei der Wartung von Anlagen in der chemischen Produktion oder bei der Planung neuer Anlagen und Anlagenteile. Nicht zuletzt werden Lehrkräfte in die Lage versetzt, mit Hilfe der vorliegenden Daten praxisorientierte Aufgaben zu erstellen.

Für Entscheidungsprozesse bei Planungs-, Entwicklungs- und Wartungsaufgaben in der chemischen Industrie liefert das Tabellenbuch **Daten für häufig vorkommende Berechnungen**, es gibt Hinweise auf **Vorteile und Nachteile wichtiger verfahrenstechnischer Apparate**, nennt die **Eigenschaften häufig verwendeter Werkstoffe** und informiert über die wichtigsten **Normen** in den entsprechenden Bereichen (Stand der Normung: Mai 2021, (z) bedeutet: zurückgezogen). Es ermöglicht dem Entscheidungsträger somit, sich gezielter und mit Vorinformationen versehen an die Hersteller verfahrenstechnischer Anlagen und Elemente zu wenden und in Verhandlungen einzutreten.

Das Buch ist eingeteilt in die Hauptabschnitte:

1	AL	MA	TM	Allgemeiner Teil, Mathematik, Technische Mathematik	5	WK	Werkstoffkunde
2	PH	Physik			6	TZ	Technisches Zeichnen
3	CH	Chemie			7	MSR	Messen, Steuern, Regeln
4	VT	Verfahrenstechnik			8	AS	Arbeitssicherheit

Die Daten in dem vorliegenden Buch wurden aufwändig und gewissenhaft in der Literatur und bei vielen einschlägigen Firmen und Instituten recherchiert. Fehler durch Übertragung und infolge von Falschinformationen können aber selbstverständlich nicht ganz ausgeschlossen werden. Es wird deshalb keine Haftung übernommen.

Bei der Benennung chemischer Verbindungen schien eine Konzession an die Praxis angebracht. Die Namen wurden stets so gewählt, wie sie üblicherweise heute in den Chemikalienkatalogen der namhaftesten Chemikalienhersteller und in anderen Datenträgern aus der Praxis (Beständigkeitslisten, Gefahrstofflisten usw.) zu finden sind. Dies entspricht nicht immer den IUPAC-Regeln, in solchen Fällen ist jedoch im Allgemeinen der systematische Name ergänzend hinzugefügt.

Verbesserungsvorschläge und Hinweise auf sinnvolle Ergänzungen des Buchinhaltes werden gerne entgegengenommen.

Gegenüber der 11. Auflage existieren folgende Veränderungen:

1. Die Inhalte wurden an die aktuellen Normen angepasst.
2. Die Gefahrstoffliste wurde aktualisiert und ergänzt (Stand: 04.2021)
3. Fehler wurden beseitigt

Verlag und Autor danken an dieser Stelle allen, die durch z.T. sehr großzügige Freigabe von Informationen dieses Buch unterstützt haben. Der besondere Dank des Autors gilt seiner Ehefrau INGE BIERWERTH, die wesentlich an der Datenrecherche beteiligt war, und dem Zeichner und Grafiker MICHAEL M. KAPPENSTEIN sowie dem Zeichenbüro des Verlags in Ostfildern für die kreative und in der Ausführung exakte Bildgestaltung.

Sommer 2021

Autor und Verlag

INHALTSVERZEICHNIS

AL ALLGEMEINES

Allgemeine Grundlagen

Griechisches Alphabet	9
Römische Ziffern	9
Basisgrößen und Basiseinheiten	9
Vorsätze vor Einheiten	10
Formelzeichen und Einheiten	10
Formelzeichen und Einheiten außerhalb des SI	18
Einheiten außerhalb des SI, mit beschränktem Anwendungsbereich	18
Umrechnung von britischen und US-Einheiten in SI-Einheiten	19
Mathematische Zeichen	23
Zeichen der Logik und Mengenlehre	26

MA MATHEMATIK

Grundlagen der allgemeinen Mathematik

Grundrechenarten	27
Klammerrechnung (Rechnen mit Summen)	29
Bruchrechnung	30
Prozentrechnung	30
Potenzrechnung	31
Radizieren	32
Logarithmieren	32
Gleichungen	33
Schlussrechnung (Dreisatz)	35
Runden von Zahlen	36
Interpolieren	36
Statistische Auswertung	37
Flächenberechnung	39
Körperberechnung	40
Lineare Regression	42
Folgen und Reihen	42
Ableitung von Funktionen	43
Kurvendiskussion	43
Trigonometrie	44

TM TECHNISCHE MATHEMATIK

Technische Mathematik

Volumeninhalt und äußere Oberfläche wichtiger Behälterböden	45
Inhalt unregelmäßiger Flächen	45
Diagramme und Nomogramme	46
Zusammensetzung von Mischphasen	50
Mischungsgleichung für Lösungen und andere Mischphasen	53

Herstellen von Maßlösungen	54
Herstellen gesättigter Lösungen; Löslichkeit	55
Berechnungsformeln der Maßanalyse (Volumetrie)	56
Berechnungsformeln der Gravimetrie	57
Feuchtigkeitsgehalt und Glühverlust	57
Aufstellen von Reaktionsgleichungen	58
Stoffumsatz und Ausbeute	59
Massenanteile der Elemente in einer Verbindung	60
Berechnungsformeln zur Dichteermittlung	60

PH PHYSIK

Mechanik

Größengleichungen	61
Länge und Fläche	61
Volumen	62
Masse	63
Dichte	63
Dichtebestimmung	64
Geschwindigkeit	65
Beschleunigung	66
Winkelgeschwindigkeit, Winkelbeschleunigung	67
Drehzahl (Umdrehungsfrequenz), Radialbeschleunigung	67
Kraft	68
Zusammensetzung und Zerlegung von Kräften in der Ebene	69
Mechanische Arbeit und Energie	70
Mechanische Leistung	70
Wirkungsgrad	70
Reibung	71
Drehmoment und Hebel	72
Rollen und Flaschenzüge	72

Mechanik der Flüssigkeiten und Gase

Druck	73
Oberflächenausbildung, verbundene Gefäße	74
Oberflächenspannung, Kapillarität	74
Viskosität (Zähigkeit)	75

Kalorik

Temperatur	77
Längen- und Volumenänderung	77
Thermische Ausdehnungskoeffizienten	78
Wärmekapazität, spezifische Wärme- kapazität, molare Wärmekapazität	79
Wärmebilanzen für unmittelbaren Wärmeaustausch	80

INHALTSVERZEICHNIS

Brennwert und Heizwert	81
Luftfeuchte	82
Temperaturstrahlung (Wärmestrahlung) . .	83
Wärmeaustausch durch Strahlung	83
Wärmeleitung in einer Wand	84
Grundgleichungen für den Wärmedurchgang	85
Zustandsänderung von Gasen	86
Gasverbrauch bei Druckgasflaschen	86
Verdichtung von Gasen	87

Elektrotechnik

Elektrische Stromstärke und elektrische Spannung	88
Elektrischer Widerstand und elektrischer Leitwert	88
Ohmsches Gesetz	89
Schaltung von elektrischen Widerständen .	89
Messbereichserweiterung bei Messinstrumenten	90
Elektrische Leistung und elektrische Arbeit	90
Kosten für elektrische Arbeit	90
Umwandlung elektrischer Energie in Wärmeenergie	91
Akkumulator	91
Leistungsbestimmung mit dem Wechselstromzähler	92
Elektroabscheidung	92
Thermoelektrische Erscheinungen	92

Elektrochemie

Elektrische Leitfähigkeit (Konduktivität) von Flüssigkeiten	93
Molare elektrische Leitfähigkeit (Äquiva- lentleitfähigkeit) von Elektrolyten	94
Faradaysche Gesetze, elektrochemisches Äquivalent	95
Elektrodenpotentiale	96

Strahlungsoptik

Brechung (Refraktion)	97
Sphärische Linsen und Hohlspiegel	97
Brechzahlen	99
Mikroskop	100
Extinktion (spektrales Absorptionsmaß) . .	100
Linienpektren	100

CH CHEMIE

Chemische Elemente

Eigenschaften der chemischen Elemente I .	101
Eigenschaften der chemischen Elemente II.	104
Elektronenkonfiguration der Elemente . . .	108

Lösungen

Eigenschaften wichtiger Lösemittel I	110
Eigenschaften wichtiger Lösemittel II	112
Lösemittel und Trockenmittel	114
Löslichkeit anorganischer Verbindungen in Wasser (Feststoffe)	116
Löslichkeit von Gasen in Wasser	119
Löslichkeitsprodukt	120
Dichte wässriger Lösungen	121

Analytik

Säure-Base-Indikatoren	123
Gravimetrie (Gewichtsanalyse)	124
Volumetrie (Maßanalyse)	125
Volumetrische Faktoren (maßanalytische Äquivalente)	126
Puffergemische	128

Stoffdaten

Stoffdaten ausgewählter chemischer Verbindungen	129
--	-----

Physikalische Chemie

Dissoziationskonstanten von Säuren und Basen in wässriger Lösung	145
Ionenaktivität	148
Ionenprodukt des Wassers	149
Äquivalentleitfähigkeit von Elektrolyten in wässriger Lösung	149

VT VERFAHRENSTECHNIK

Anlagenplanung

Schema zur Planung und Realisierung einer verfahrenstechnischen Anlage	151
Gefährdungsbeurteilung und Ausfallrisiko an einer Anlage	152

Qualitätsmanagement

Grundsätze, Struktur und Ziele	154
Grundlagen für Qualitäts- managementsysteme	155
Qualitätsregelkarten (QRK)	156

Lagerbehälter und Rührkessel

Probenahmen aus Haufwerken und Behältern	159
Probenahmen aus Haufwerken	160
Allgemeine Regeln für die Probenahme aus Haufwerken und Behältern	160
Probenahmen aus Haufwerken und Behältern – Entnahmetechnik	162

INHALTSVERZEICHNIS

Begriffe, Kennbuchstaben, Formelzeichen und Nennmaße	163
Nenndurchmesser und Nennvolumen	164
Befahren von Behältern, Silos und engen Räumen 1 – Gefahren und Ursachen.	165
Befahren von Behältern, Silos und engen Räumen 2 – Gefahren und Maßnahmen.	166
Füllvolumen von Lagerbehältern.	167
Bauteile – Benennungen.	170
Behälterkennzeichnung.	171
Schrauben und Muttern	172
Befahren von Behältern, Einstieg in enge Räume	174
Begriffe.	176
Prüfgase und Berechnungsformeln.	179

Fördern von Stoffen

Anfahren (Inbetriebnahme) von Pumpen . .	180
Kennzeichnung von Rohrleitungen und ortsbeweglichen Gasflaschen.	181
Nennweiten von Rohrleitungen.	182
Druckgeräte – Benennungen	183
Rohrklassen nach PAS.	184
Rohrleitungskategorien	186
Einteilung der Stahlrohre für Druckbeanspruchung	187
Maßnormen für Rohre aus Stahl.	187
Normen für Lieferbedingungen von Stahlrohren.	193
Weitere Normen für Rohrleitungen.	193
Erforderliche Wanddicke von Stahlrohren. .	194
Flanschverbindungen	195
Rohrverschraubungen	196
Rohrverbindungen im Vergleich.	197
Kompensatoren (Dehnungsausgleicher). . .	198
Kompensatoren im Vergleich	199
Kondensatableiter allgemein	200
Kondensatableiter im Vergleich	201
Auslegung von Kondensatableitern und Kondensatleitungen	202
Normen zu Absperr- und Regelarmaturen .	203
Einteilung und Merkmale von Absperrarmaturen	204
Armaturen im Vergleich	205
Strömungstechnische Kennzahlen für Armaturen	206
Druckverlustzahlen (Widerstandsbeiwerte) von Armaturen.	207
Spezielle Armaturen und ihre besonderen Merkmale.	208
Druckverluste in Rohrleitungssystemen . .	209
Äquivalente Rohrrauheiten und typische Strömungsgeschwindigkeiten	210
Druckverlustzahlen von Formstücken	211
Druckverlustzahlen von Armaturen.	213

Dichtungswerkstoffe	214
Flachdichtungen	216
Profildichtungen	217
Schweißdichtungen.	217
Beständigkeit von Dichtungsmaterialien . .	218
Vergleichende Betrachtung der wichtigsten Förderpumpen	222
Leistungsgrenzen der wichtigsten Förderpumpen.	224
Kreiselpumpen mit axialem Eintritt.	226
Berechnung der erforderlichen Pumpenleistung (Antriebsleistung).	227
NPSH-Wert	230
Betriebspunkt einer Pumpe	231
Verdichter – Grundlagen.	232
Verdichterbauarten und Einsatzbereiche. .	233

Wärmeübertragung

Überschlägige Berechnung der erforderlichen Wärmeaustauschfläche . . .	235
Näherungsweise Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten (K-Wert) . .	240
Wärmeaustauscher	244
Kühlen.	246
Wärmeträger	247
Dampfdruck nach Antoine	250

Thermisches Trennen

Trocknung im Luftstrom (Konvektionstrocknung)	251
Trockner	254
Rektifikation	256
Extraktion (Flüssig-Flüssig-Extraktion) . . .	260
Absorption	261
Adsorption	263
Ionenaustauscher	266
Kolonneneinbauten.	267

Stoffaustausch

Füllkörper im Vergleich	268
Kolonnenpackungen	271

Stoffvereinigung

Rühren – Grundlagen	272
Rührer.	273

Mechanisches Trennen

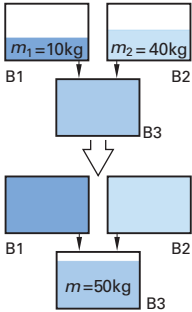
Korngrößenverteilung/Siebanalyse.	278
Filtration	281
Sedimentation	282

Zusammensetzung von Mischphasen

(nach DIN 1310:1984-02)

Mischphasen sind Gasgemische, Lösungen und Mischkristalle, die folgenden Angaben gelten aber auch für Gemenge nicht mischbarer Stoffe.

Massenanteil w und Massenverhältnis ζ



Massenanteil $w_i = \frac{m_i}{m}$ z. B. $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{m}$

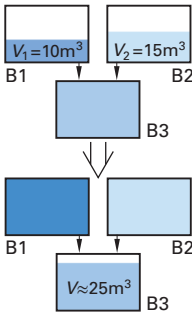
m_i Masse des Stoffes i m Gesamtmasse ($m_1 + m_2 + \dots + m_n$)

B Massenanteil des Stoffes 1 in der Mischphase (B 3):
 $w_1 = \frac{m_1}{m} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} = \frac{10 \text{ kg}}{10 \text{ kg} + 40 \text{ kg}} = \frac{10 \text{ kg}}{50 \text{ kg}} = 0,2 \triangleq 20 \%$

Massenverhältnis $\zeta_{ik} = \frac{m_i}{m_k}$ m_i Masse des Stoffes i
 m_k Masse des Stoffes k

B Massenverhältnis Stoff 1 zu Stoff 2: $\zeta_{12} = \frac{m_1}{m_2} = \frac{10 \text{ kg}}{40 \text{ kg}} = 0,25$

Volumenanteil φ und Volumenverhältnis ψ



Volumenanteil $\varphi_i = \frac{V_i}{V}$ z. B. $\varphi(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{V(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{V}$

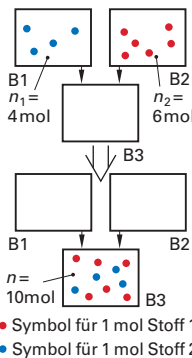
V_i Volumen des Stoffes i vor dem Mischen
 V Gesamtvolumen ($V_1 + V_2 + \dots + V_n$) vor dem Mischen

B Volumenanteil des Stoffes 1 in der Mischphase (B 3)
 $\varphi_1 = \frac{V_1}{V} = \frac{V_1}{V_1 + V_2} = \frac{10 \text{ m}^3}{10 \text{ m}^3 + 15 \text{ m}^3} = \frac{10 \text{ m}^3}{25 \text{ m}^3} = 0,4 \triangleq 40 \%$

Volumenverhältnis $\psi_{ik} = \frac{V_i}{V_k}$ V_i Volumen des Stoffes i vor dem Mischen
 V_k Volumen des Stoffes k vor dem Mischen

B Volumenverhältnis Stoff 1 zu Stoff 2: $\psi_{12} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{10 \text{ m}^3}{15 \text{ m}^3} = 0,67$

Stoffmengenanteil x und Stoffmengenverhältnis r



Stoffmengenanteil $x_i = \frac{n_i}{n}$ z. B. $x(\text{HCl}) = \frac{n(\text{HCl})}{n}$

n_i Stoffmenge des Stoffes i n Gesamt-Mole ($n_1 + n_2 + \dots + n_n$)

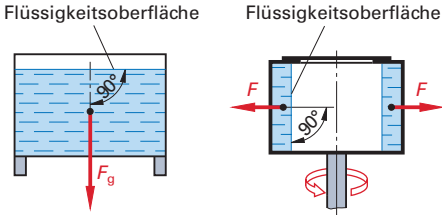
B Stoffmengenanteil des Stoffes 1 in der Mischphase (B 3):
 $x_1 = \frac{n_1}{n} = \frac{n_1}{n_1 + n_2} = \frac{4 \text{ mol}}{4 \text{ mol} + 6 \text{ mol}} = \frac{4 \text{ mol}}{10 \text{ mol}} = 0,4 \triangleq 40 \%$

Stoffmengenverhältnis $r_{ik} = \frac{n_i}{n_k}$ n_i Stoffmenge des Stoffes i
 n_k Stoffmenge des Stoffes k

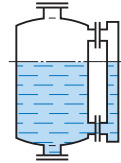
B Stoffmengenverhältnis Stoff 1 zu Stoff 2 (B 3): $r_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{4 \text{ mol}}{6 \text{ mol}} = 0,67$

Oberflächenbildung, verbundene Gefäße

Die **Oberfläche** einer Flüssigkeit stellt sich stets senkrecht zur wirkenden bzw. dominierenden Kraft ein.

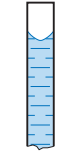


In **verbundenen Gefäßen** steht eine Flüssigkeit, unabhängig von Form und Anzahl der Gefäße, überall gleich hoch, sofern keine Kapillarkwirkung eintritt.



Standglas (Schauglas) an einem Behälter

Bei genügend engen Gefäßen entsteht eine **konkave** oder **konvexe Oberfläche**, je nachdem ob die Adhäsionskräfte zwischen Flüssigkeit und Gefäßwand oder die Kohäsionskräfte zwischen den Flüssigkeitsteilchen überwiegen.



konkav

z. B. Wasser in einem Glasrohr



konvex

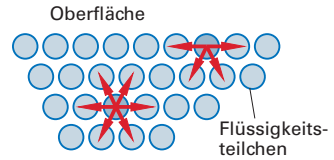
z. B. Quecksilber in einem Glasrohr

Oberflächenspannung, Kapillarität

Oberflächenspannung

Formelzeichen: σ Einheit: N/m

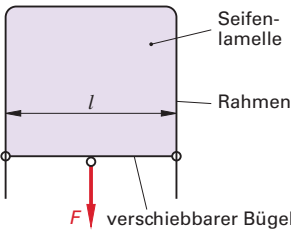
Ursache: Kohäsionskräfte, die an der Oberfläche einer Flüssigkeit angreifen (die Kraftresultierende für ein Teilchen an der Oberfläche ist zum Inneren der Flüssigkeit hin gerichtet, während sich die Kräfte für ein Teilchen im Inneren kompensieren)



Messung der Oberflächenspannung:

$$\sigma = \frac{F}{l}$$

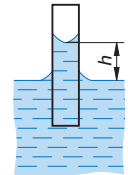
F Kraft zur Dehnung der Flüssigkeitsoberfläche in N
 l Länge der Randlinie in m



Kapillarität:

$$h = \frac{4 \sigma}{g \cdot d \cdot \rho}$$

h Höhendifferenz zur Normalhöhe in m
 σ Oberflächenspannung in N/m
 ρ Dichte der Flüssigkeit in kg/m³
 g Fallbeschleunigung in m/s²
 d Durchmesser des Kapillarrohres in m



Oberflächenspannung ausgewählter Stoffe bei 20 °C

Stoff	σ in N/m	Stoff	σ in N/m	Stoff	σ in N/m
Aceton (Dimethylketon)	0,023	Ethanol	0,022	Petroleum	0,027
Acetonitril	0,028	w(C ₂ H ₅ OH) = 40 %	0,030	Phenol	0,039
Ammoniak	0,021	w(C ₂ H ₅ OH) = 20 %	0,038	Propanol	0,024
Anilin (Phenylamin)	0,043	Ethylacetat	0,024	Quecksilber	0,47
Benzol	0,029	Glycerin	0,059	Salpetersäure	0,041
Butanol	0,025	Hexan	0,018	w(HNO ₃) = 50 %	0,065
Chlorbenzol	0,027	Hydrazin	0,068	Salzsäure	
Chloroform	0,027	Isobutanol	0,023	w(HCl) = 30 %	0,070
(Trichlormethan)		Isopropanol	0,021	Schwefelsäure	
Cyclohexan	0,025	Methanol	0,023	w(H ₂ SO ₄) = 60 %	0,076
Dichlormethan	0,027	Methylamin	0,021	w(H ₂ SO ₄) = 98 %	0,055
Diethylether	0,017	Natronlauge		Tetrachlormethan	0,027
Diphenyl	0,036	w(NaOH) = 50 %	0,13	Toluol (Methylbenzol)	0,029
Essigsäure	0,028	w(NaOH) = 20 %	0,086	Wasser	0,073
w(CH ₃ COOH) = 50 %	0,04	Nitrobenzol	0,043	Xylol	0,03

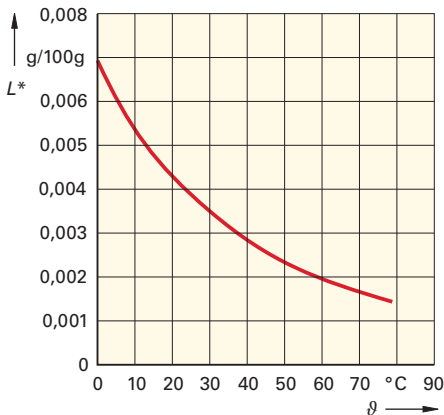
Elektronenkonfiguration der Elemente (Fortsetzung)

Ordnungszahl Z	Element	K	L	M	N	O	P	Q
54	Xe	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰	5s ² 5p ⁶		
55	Cs	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰	5s ² 5p ⁶	6s ¹	
56	Ba	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰	5s ² 5p ⁶	6s ²	
57	La	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰	5s ² 5p ⁶ 5d ¹	6s ²	
58	Ce	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ²	5s ² 5p ⁶	6s ²	
59	Pr	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ³	5s ² 5p ⁶	6s ²	
60	Nd	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ⁴	5s ² 5p ⁶	6s ²	
61	Pm	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ⁵	5s ² 5p ⁶	6s ²	
62	Sm	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ⁶	5s ² 5p ⁶	6s ²	
63	Eu	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ⁷	5s ² 5p ⁶	6s ²	
64	Gd	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ⁷	5s ² 5p ⁶ 5d ¹	6s ²	
65	Tb	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ⁹	5s ² 5p ⁶	6s ²	
66	Dy	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁰	5s ² 5p ⁶	6s ²	
67	Ho	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹¹	5s ² 5p ⁶	6s ²	
68	Er	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹²	5s ² 5p ⁶	6s ²	
69	Tm	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹³	5s ² 5p ⁶	6s ²	
70	Yb	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶	6s ²	
71	Lu	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹	6s ²	
72	Hf	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ²	6s ²	
73	Ta	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ³	6s ²	
74	W	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ⁴	6s ²	
75	Re	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ⁵	6s ²	
76	Os	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ⁶	6s ²	
77	Ir	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ⁷	6s ²	
78	Pt	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ⁹	6s ¹	
79	Au	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰	6s ¹	
80	Hg	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰	6s ²	
81	Tl	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰	6s ² 6p ¹	
82	Pb	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰	6s ² 6p ²	
83	Bi	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰	6s ² 6p ³	
84	Po	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰	6s ² 6p ⁴	
85	At	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰	6s ² 6p ⁵	
86	Rn	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰	6s ² 6p ⁶	
87	Fr	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰	6s ² 6p ⁶	7s ¹
88	Ra	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰	6s ² 6p ⁶	7s ²
89	Ac	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰	6s ² 6p ⁶ 6d ¹	7s ²
90	Th	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰	6s ² 6p ⁶ 6d ²	7s ²
91	Pa	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰ 5f ²	6s ² 6p ⁶ 6d ¹	7s ²
92	U	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰ 5f ³	6s ² 6p ⁶ 6d ¹	7s ²
93	Np	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰ 5f ⁴	6s ² 6p ⁶ 6d ¹	7s ²
94	Pu	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰ 5f ⁶	6s ² 6p ⁶	7s ²
95	Am	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰ 5f ⁷	6s ² 6p ⁶	7s ²
96	Cm	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰ 5f ⁷	6s ² 6p ⁶ 6d ¹	7s ²
97	Bk	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰ 5f ⁹	6s ² 6p ⁶	7s ²
98	Cf	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰ 5f ¹⁰	6s ² 6p ⁶	7s ²
99	Es	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰ 5f ¹¹	6s ² 6p ⁶	7s ²
100	Fm	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰ 5f ¹²	6s ² 6p ⁶	7s ²
101	Md	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰ 5f ¹³	6s ² 6p ⁶	7s ²
102	No	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰ 5f ¹⁴	6s ² 6p ⁶	7s ²
103	Lr	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰ 5f ¹⁴	6s ² 6p ⁶ 6d ¹	7s ²
104	Rf	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰ 5f ¹⁴	6s ² 6p ⁶ 6d ²	7s ²
105	Db	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰ 5f ¹⁴	6s ² 6p ⁶ 6d ³	7s ²
106	Sg	1s ²	2s ² 2p ⁶	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰ 5f ¹⁴	6s ² 6p ⁶ 6d ⁴	7s ²

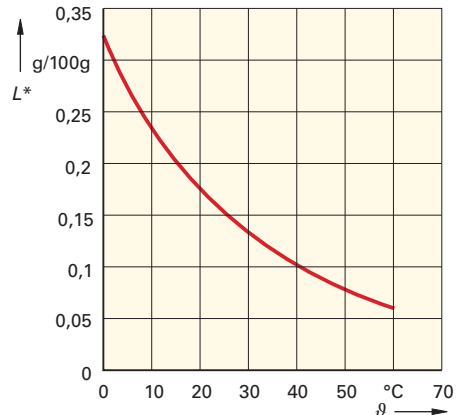
Löslichkeit von Gasen in Wasser

Gas	Formel	$L^*(X, \vartheta)$ in g/(100 g Wasser) bei einem Absolutdruck von $p = 101315 \text{ Pa}$								
		0 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	40 °C	60 °C	80 °C	
Ammoniak	NH ₃	89,7		52,6				33,8	23,8	15,4
Argon	Ar		0,00671	0,00609	0,00559	0,00516				
Chlor	Cl ₂	1,46		0,729		0,591	0,459	0,329	0,223	
Distickstoffmonoxid	N ₂ O		0,145	0,124	0,107	0,093				
Ethan	C ₂ H ₆	0,0132	0,0076	0,00652	0,00568	0,00501	0,0037	0,0024	0,0013	
Ethen (Ethylen)	C ₂ H ₄	0,028		0,015			0,0097	0,0073		
Ethin (Acetylen)	C ₂ H ₂	0,203		0,121			0,082	0,061		
Helium	He		0,00016	0,00016	0,00016	0,00016				
Hydrogenchlorid	HCl	82,5		72,1			63,3	56,1		
Hydrogensulfid	H ₂ S	0,707	0,443	0,393	0,351	0,315	0,236	0,148	0,0765	
Kohlenstoffdioxid	CO ₂	0,335	0,201	0,173	0,150	0,132	0,097	0,058		
Kohlenstoffmonoxid	CO	0,00440	0,00326	0,00298	0,00276	0,00258	0,00208	0,00152		
Methan	CH ₄	0,00396	0,00278	0,00250	0,00227	0,00209	0,00159	0,00114		
Sauerstoff	O ₂	0,00695	0,0049	0,00444	0,00407	0,00377	0,00308	0,00227	0,00138	
Schwefeldioxid	SO ₂	22,8	12,71	10,62	8,97	7,63	5,54			
Stickstoff	N ₂	0,00294	0,00216	0,00198	0,00184	0,00172	0,00139	0,00105	0,00066	
Stickstoffmonoxid	NO		0,00693	0,00631	0,00579	0,00537				
Wasserstoff	H ₂	0,00019	0,00017	0,00016	0,00016	0,00015	0,00014	0,00012	0,00008	

Löslichkeit von Sauerstoff in Abhängigkeit von der Temperatur



Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Abhängigkeit von der Temperatur



Gravimetrie (Gewichtsanalyse)

Massenanteil $w(X)$ des gesuchten Stoffes aus den Teilchen X in einer Probe (Stoffgemisch):

$$w(X) = \frac{m(A) \cdot F \cdot 100}{m}$$

Masse $m(X)$ des gesuchten Stoffes in der Einwaage m :

$$m(X) = m(A) \cdot F$$

Stöchiometrischer (gravimetrischer) Faktor:

$$F = \frac{a \cdot M(X)}{M(A)} \quad \text{z. B. } F(\text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Al}) = \frac{2 \cdot M(\text{Al})}{M(\text{Al}_2\text{O}_3)}$$

$w(X)$ Massenanteil des zu bestimmenden Stoffes aus den Teilchen X in der Probe in %

$m(X)$ Masse des zu bestimmenden Stoffes aus den Teilchen X in der Probe in g

$m(A)$ Masse des gefällten und getrockneten Niederschlags (Auswaage) aus den Teilchen A in g

m Masse der Probe (Einwaage) in g

a Anzahl der Teilchen X je Atomgruppe A in der Wägeform

$M(X)$ Molare Masse des Stoffes aus den Teilchen X in g/mol

$M(A)$ Molare Masse des Stoffes aus den Teilchen A in g/mol

Auswahl stöchiometrischer Faktoren

Gesucht. Stoff	Wägeform	F	Gesucht. Stoff	Wägeform	F	Gesucht. Stoff	Wägeform	F
Ag	Ag ₃ AsO ₄	0,6996	Cl	AgCl	0,2474	Mg	Mg ₂ P ₂ O ₇	0,2184
	AgBr	0,5745	HCl	AgCl	0,2550	MgO	Mg ₂ P ₂ O ₇	0,3622
	AgCl	0,7526	Co	Co(C ₇ H ₆ NO ₂) ₂	0,1779	Mn	Mn ₂ P ₂ O ₇	0,3871
AgNO ₃	AgCl	1,1853		Co(C ₉ H ₆ ON) ₂	0,1538	MnO ₂	Mn ₂ P ₂ O ₇	0,6126
Al	Al(C ₉ H ₆ ON) ₃	0,05872		· 2 H ₂ O		Mo	PbMoO ₄	0,2613
	Al ₂ O ₃	0,5293	Cr	Co ₃ O ₄	0,7342	Na	NaMg(UO ₂) · (C ₂ H ₃ O ₂) ₉ · 6 H ₂ O	0,01536
Al ₂ O ₃	Al(C ₉ H ₆ ON) ₃	0,1110		BaCrO ₄	0,2053			
As	Ag ₃ AsO ₄	0,1620		PbCrO ₄	0,1609			
	Mg ₂ As ₂ O ₇	0,4827		Cr ₂ O ₃	0,6842			
As ₂ O ₃	Ag ₃ AsO ₄	0,2139	Cr ₂ O ₃	BaCrO ₄	0,3000	Nb	Nb ₂ O ₅	0,6991
	Mg ₂ As ₂ O ₇	0,6373	Cu	Cu(C ₇ H ₆ NO ₂) ₂	0,1892	Ni	NiC ₈ H ₁₄ O ₄ N ₄	0,2031
B	B ₂ O ₃	0,3106		Cu(C ₉ H ₆ ON) ₂	0,1806		Ni(C ₉ H ₆ ON) ₂ · 2 H ₂ O	0,1533
Ba	BaCO ₃	0,6959		CuO	0,7989	P	Mg ₂ P ₂ O ₇	0,2783
	BaCrO ₄	0,5421		CuS	0,6646	PO ₄	Mg ₂ P ₂ O ₇	0,8535
	BaSO ₄	0,5884		CuSCN	0,5225	P ₂ O ₅	Mg ₂ P ₂ O ₇	0,6378
BaO	BaCO ₃	0,7770	F	CaF ₂	0,4867	Pb	PbCl ₂	0,7450
Ba(OH) ₂	BaCO ₃	0,8683	Fe	Fe(C ₉ H ₆ ON) ₃	0,1144		PbCrO ₄	0,6411
	BaSO ₄	0,7341		Fe(CN) ₆	0,2635		PbSO ₄	0,6832
Be	BeO	0,3603		Fe(OH) ₃	0,5226			
	BeP ₂ O ₇	0,0939		Fe ₂ O ₃	0,6994	S	BaSO ₄	0,1374
Bi	Bi(C ₉ H ₆ ON) ₃ · H ₂ O	0,3169	Ga	Ga ₂ O ₃	0,7439	SO ₂	BaSO ₄	0,2745
	Bi ₂ O ₃	0,8970	Ge	GeO ₂	0,6941	SO ₄	BaSO ₄	0,4116
	BiPO ₄	0,6875	Hg	Hg(C ₇ H ₆ NO ₂) ₂	0,4242	Sb	Sb ₂ O ₃	0,8353
Bi ₂ O ₃	Bi(C ₉ H ₆ ON) ₃ · H ₂ O	0,3533		Hg ₂ Cl ₂	0,8498		Sb ₂ S ₃	0,7168
Br	AgBr	0,4255		I	AgI	Si	SiO ₂	0,4672
HBr	AgBr	0,4309		In	In ₂ O ₃	Sn	SnO ₂	0,7877
C	BaCO ₃	0,06087				Ta	Ta ₂ O ₅	0,8191
	CO ₂	0,2729	K	K[B(C ₆ H ₅) ₄]	0,1091	Ti	TiCl ₃	0,3104
CO ₂	CaCO ₃	0,4397		KCl	0,5244		TiO ₂	0,5995
HCN	AgCN	0,2018		KClO ₄	0,2822		TiO(C ₉ H ₆ ON) ₂	0,1360
HSCN	AgSCN	0,3560	La	La ₂ O ₃	0,8527	Zn	Zn(C ₇ H ₆ O ₂ N) ₂	0,1937
Ca	CaCO ₃	0,4004	Li	Li ₃ PO ₄	0,1798		Zn(C ₉ H ₆ ON) ₂	0,1849
	CaC ₂ O ₄ · H ₂ O	0,2743		Mg	Mg(C ₉ H ₆ ON) ₂ · 2 H ₂ O		ZnNH ₄ PO ₄	0,3665
	CaF ₂	0,5133			0,06971		ZnO	0,8034
CaO	CaCO ₃	0,5603			0,09904		Zn ₂ P ₂ O ₇	0,4292
	Ca(C ₇ H ₆ NO ₂) ₂	0,1795				Zr	ZrO ₂	0,7403
Cd	CdO	0,8754						
	CdS	0,7781						
Ce	CeO ₂	0,8141						

Stoffdaten ausgewählter chemischer Verbindungen (Fortsetzung)									
Stoff	Formel	M kg/kmol	ϑ_b °C	ϑ_m °C	ρ kg/m ³	p_D hPa	n	Δh_v kJ/kg	η mPa · s
Crotonaldehyd, β -Methylacrolein, Trans-2-butenal	C ₄ H ₆ O	70,09	104	-74	850	43 20 °C	1,4355 20 °C		
Crotensäure, 2-Butensäure, β -Methylacrylsäure	C ₄ H ₆ O ₂	86,09	185	71,5	1018 15 °C	0,25 20 °C	1,4249 77 °C		
Cumol, Isopropylbenzol, 2-Phenylpropan	C ₉ H ₁₂	120,2	152,4	-97	862 20 °C	5,2 20 °C	1,4915 20 °C		0,78 20 °C
Cyanurchlorid, 2,4,6-Tri- chlor -1,3,5-triazin	C ₃ Cl ₃ N ₃	184,41	190	154	1320 (ca.)	2,7 70 °C			
Cyclododecan	C ₁₂ H ₂₄	168,32	243	61	830 65 °C	0,1 20 °C	1,455 65 °C		
Cyclododecanon	C ₁₂ H ₂₂ O	182,31	195	59	906 66 °C	0,01 20 °C	1,4571 66 °C		
Cyclohexan	C ₆ H ₁₂	84,16	80,7	6,5	779	104 20 °C	1,4266 20 °C	360	0,94 20 °C
Cyclohexanol	C ₆ H ₁₂ O	100,16	161,1	25,1	962,4	1,3 20 °C	1,4656 20 °C	423	4,6 25 °C
Cyclohexanon	C ₆ H ₁₀ O	98,15	155,6	-26	948	4,7 20 °C	1,4507 20 °C	456	2,22 20 °C
Cyclooctadien, Cyclododecatrien	C ₈ H ₁₂	108,18	151	-70	882	6,5 20 °C	1,4905 25 °C		
1,3-Cyclopentadien	C ₅ H ₆	66,10	40	-97,2	802 20 °C	492 20 °C	1,4440 20 °C		
Cyclopentan	C ₅ H ₁₀	70,13	49,3	93,9	746 20 °C	436	1,4065 20 °C	390	0,46 20 °C
Cyclopenten	C ₅ H ₈	68,12	44,2	-135	772 20 °C	418 20 °C	1,4225 20 °C		0,35 20 °C
Decahydronaphthalin, cis-Decalin	C ₁₀ H ₁₈	138,25	195,6	-43	896,5 20 °C	100 50 °C	1,4810 20 °C	309	2,4 20 °C
Decan	C ₁₀ H ₂₂	142,28	174,1	-29,7	730 20 °C	1,74 20 °C	1,4102 20 °C	272	0,92 20 °C
1,12-Diaminododecan, Dodecamethylendiamin	C ₁₂ H ₂₈ N ₂	200,37	303 ... 305						
Diammoniumhydrogen- phosphat, Gärnsalz	(NH ₄) ₂ HPO ₄	132,06	d	155 d	1619				
Dibrommethan	CH ₂ Br ₂	173,83	97,0	-52,6	2497 20 °C	47 20 °C	1,5420 20 °C	207	1,025 20 °C
1,2-Dichlorbenzol, o-Dichlorbenzol	C ₆ H ₄ Cl ₂	147,0	180,5	-17	1305 20 °C	1,33 20 °C	1,5515 20 °C	272	1,32 20 °C
1,3-Dichlorbenzol, m-Dichlorbenzol	C ₆ H ₄ Cl ₂	147,0	172,0	-25	1288 20 °C	2,7	1,5459 20 °C		1,07 20 °C
1,4-Dichlorbenzol, p-Dichlorbenzol	C ₆ H ₄ Cl ₂	147,0	174,5	53,1	1248 20 °C	0,8 20 °C	1,5285 20 °C		1,26 20 °C
Dichlordiphenyltri- chlorethan, DDT	C ₁₄ H ₉ Cl ₅	354,49	260	108 ... 109					
1,1-Dichlorethan	C ₂ H ₄ Cl ₂	98,96	57,3	-97,0	1176 20 °C	296	1,4164 20 °C	309	0,48 20 °C
1,2-Dichlorethan	C ₂ H ₄ Cl ₂	98,96	83,5	-35,3	1246	104	1,4448 20 °C	324	0,84 20 °C
Dichlormethylphenyl- silan, Methylphenyl- dichlorsilan	C ₇ H ₈ Cl ₂ Si	191,13	206 ... 207		1187 20 °C	0,41 20 °C		1518 20 °C	

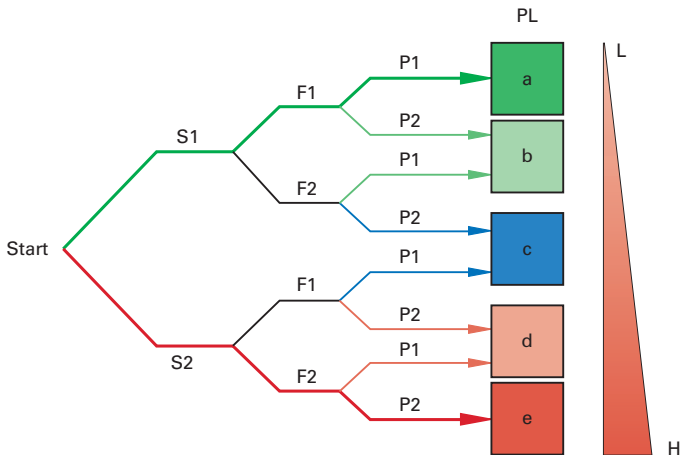
Gefährdungsbeurteilung und Ausfallrisiko an einer Anlage

Risikograph

Man unterscheidet

- Gefährdung von Personen oder Umwelt und
- Gefährdung eines Prozesses bzw. einer Produktion

Eine Hilfe bei der Beurteilung von Gefährdungen stellt der Risikograph dar. Die Grundstruktur kann nach DIN EN ISO 13849-1:2016-06 wie folgt dargestellt werden:



Legende:

L **Niedriger Aufwand** zur Minderung des Risikos

H **Hoher Aufwand** zur Minderung des Risikos

PL_r Erforderlicher **Performance Level**

S1 **Leichte Verletzungen**, die üblicherweise reversibel sind

S1 **Störungen des Prozesses, die üblicherweise geringe bzw. keine Auswirkung auf die Produktion haben** (z. B. Kesselbeleuchtung im Behälter fällt aus, Kühlwasserleitung tropft, Korrosion am Deckelflansch, Produktleitung tropft, Temperaturanzeige in einer Verdampferblase fällt aus, Kontaktkorrosion am Flansch einer Rührerwelle im Behälter...)

S2 **Ernste Verletzungen**, die üblicherweise nicht reversibel sind oder sogar zum Tod führen können

S2 **Störung des Prozesses, die die Produktqualität wesentlich beeinträchtigen, das Produkt unbrauchbar machen, zu einer Prozessunterbrechung oder zu einem Totalausfall der Anlage führen.**

(z. B. Kühlung, Heizung oder Rührer fällt aus, an einem Druckbehälter wird interkristalline Korrosion festgestellt, an der Innenwand eines Verdampfers hat sich eine Kesselsteinschicht gebildet)

F1 **Selten bis öfter** und /oder kurze Dauer der Gefährdung

F2 **Häufig bis dauernd** und/oder lange Dauer der Gefährdung

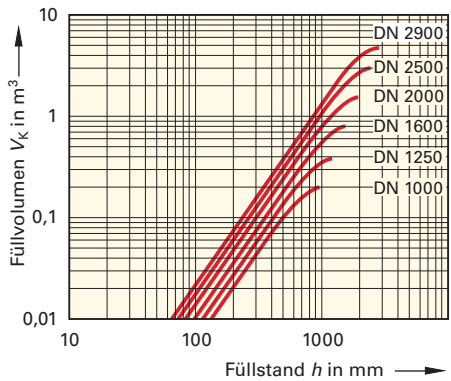
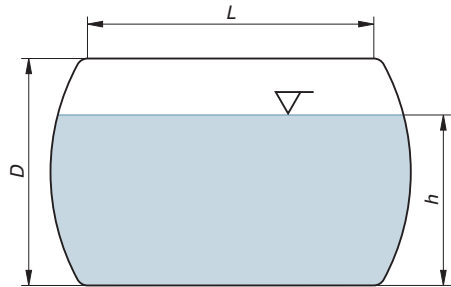
P1 **Vermeidung** unter bestimmten Bedingungen **möglich**

P2 **Vermeidung kaum** oder nur durch sehr großen Aufwand **möglich**

Füllvolumen von Lagerbehältern

Ungefähres Füllvolumen teilgefüllter liegender zylindrischer Behälter (beidseitig Klöpperböden)
(siehe auch S. 41 und S. 45)

h in mm	Flüssigkeitsvolumen in V_K in m^3 bei D in mm					
	1000	1250	1600	2000	2500	2900
50	0,00167	0,00216	0,00290	0,00384	0,00520	0,00645
100	0,00594	0,00771	0,01028	0,01331	0,01726	0,02059
150	0,01240	0,01615	0,02159	0,02803	0,03634	0,04315
200	0,02084	0,02721	0,03645	0,04741	0,06159	0,07323
250	0,03104	0,04069	0,05464	0,07116	0,09256	0,11018
300	0,04275	0,05637	0,07595	0,09907	0,12900	0,15365
350	0,05570	0,07401	0,10017	0,13095	0,17069	0,20343
400	0,06959	0,09333	0,12707	0,16657	0,21744	0,25929
450	0,08414	0,11405	0,15638	0,20571	0,26903	0,32103
500	0,09901	0,13589	0,18784	0,24812	0,32525	0,38846
550	0,11388	0,15855	0,22118	0,29357	0,38587	0,46135
600	0,12843	0,18170	0,25608	0,34177	0,45066	0,53949
650	0,14232	0,20501	0,29227	0,39246	0,51936	0,62264
700	0,15527	0,22816	0,32946	0,44533	0,59170	0,71056
750	0,16697	0,25083	0,36730	0,50010	0,66744	0,80300
800	0,17717	0,27266	0,40547	0,55646	0,74627	0,89970
850	0,18562	0,29339	0,44364	0,61419	0,82791	1,00039
900	0,19208	0,31271	0,48148	0,67288	0,91208	1,10479
950	0,19635	0,33034	0,51867	0,73222	0,99846	1,21261
1000		0,34602	0,55486	0,79189	1,08675	1,32358
1100		0,37057	0,62310	0,91090	1,26810	1,55371
1200		0,38456	0,68387	1,02732	1,45333	1,79291
1300			0,73499	1,13845	1,63986	2,03876
1400			0,77449	1,24201	1,82509	2,28850
1500			0,80067	1,33566	2,00644	2,53954
1600				1,41722	2,18111	2,78928
1700				1,48471	2,34692	3,03513
1800				1,53638	2,50149	3,27433
1900				1,57048	2,64253	3,50446
2000					2,76794	3,72325
2100					2,87575	3,92833
2200					2,96419	4,11747
2300					3,03161	4,28855
2400					3,07593	4,43958
2500						4,56875
2600						4,67438
2700						4,75480
2800						4,80745



Die Tabelle und das Diagramm geben nur den Voluminhalt V_K in den Klöpperböden an (ohne den zylindrischen Mittelteil).

Das gesamte Füllvolumen V (in m^3) errechnet sich in Abhängigkeit von der Länge L des gesamten zylindrischen Teils nach folgender Formel:


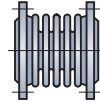
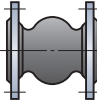
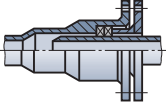
$$V = V_K + \left[\frac{D^2}{4} \cdot \arccos\left(1 - \frac{2 \cdot h}{D}\right) - \sqrt{h \cdot D - h^2} \cdot \left(\frac{D}{2} - h\right) \right] \cdot L$$

Alle Größen in m bzw. m^3 einsetzen!

B Gesucht ist das ungefähre Füllvolumen, wenn in einem liegenden zylindrischen Tank mit Klöpperböden ($D = 1600$ mm, $L = 1,5$ m) die Flüssigkeit 80 cm hoch steht.

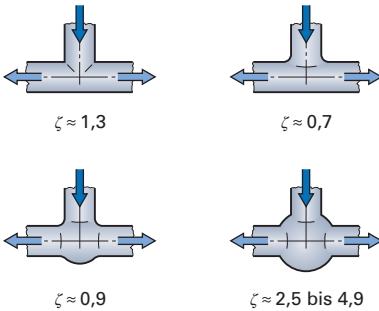
$$V = 0,40547 \text{ m}^3 + \left[\frac{(1,6 \text{ m})^2}{4} \cdot \arccos\left(1 - \frac{2 \cdot 0,8 \text{ m}}{1,6 \text{ m}}\right) - \sqrt{0,8 \text{ m} \cdot 1,6 \text{ m} - (0,8 \text{ m})^2} \cdot \left(\frac{1,6 \text{ m}}{2} - 0,8 \text{ m}\right) \right] \cdot 1,5 \text{ m}$$

$V = 1,9 \text{ m}^3$

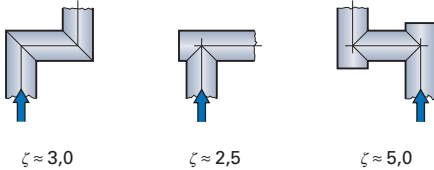
Kompensatoren im Vergleich				
Kompensator- typ	U-Bogen, Winkelbo- gen, Z-Bogen u. Ä.	Wellrohr- kompensator	Elastomer- (bzw. Gummi-) und Gewebe- kompensator	Stopfbuchsen- bzw. Gleitrohr- kompensator
Bild				
Nennweiten	Alle Nennweiten	DN 1 bis > DN 12 000	Gewebe-K.: alle Nenn- weiten. Gummi-K.: bis > DN2800, mit Sonderwerkstoffen bis DN4000	Bis ca. DN 800, in Behälterwänden bis > DN 1200
Nennrücke	Alle Nennrücke	Bis max. ca. PN 320, bei großen Nennweiten weniger	Gewebe-K.: bis ca. PN2 Gummi-K.: bis ca. PN25	Extrem hohe Drücke möglich
Betriebs- tempera- turen	Beliebig, je nach Rohrmaterial	Bis > 900 °C bei hoch- hitzebeständigem Stahl, sonst bis ca. 500 °C	Gewebe-K.: bis ca. 1200° C; Gummi-K.: bis ca. 200°C	Bis ca. 350 °C, wegen Abdichtungsproble- men meist weniger
Platzbedarf	Relativ groß	Axial-K.: sehr gering, Lateral- und Angular- Kompensatoren größer	Sehr gering	Gering
Druckverlust	Relativ groß (durch Bogenstücke und Schweißnähte)	Gering. Faustregel: etwa 4x so groß wie Rohrstück gleicher Länge. Mit Leitrohr: $\Delta p \approx 0$	Gering (meist vernach- lässigbar). Im Zweifels- fall: 1 Kompensator = ca.10 m Rohrleitung	Gering (meist ver- nachlässigbar)
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> Für alle Betriebsbe- dingungen geeig- net Oft anlagebedingt ohnehin vorhanden Strömungsrichtung nicht festgelegt Große Betriebs- sicherheit 	<ul style="list-style-type: none"> Geringer Platzbedarf Kaum Druckverlust Axial-, Lateral- und Angularbewegungen möglich Alle Nennweiten möglich Strömungsrichtung (ohne Leitrohr) be- liebig Bei mehrlagigen Bälgen große Betriebssicherheit Gute Schwingungs- und Geräuschdämp- fung 	<ul style="list-style-type: none"> Geringer Platzbedarf Sehr gute Vibrations- und Geräuschdämp- fung Gute Aufnahme von Lateralbewegungen Kaum Druckverlust (auch ohne Leitrohr) Strömungsrichtung beliebig Geringe Rückstell- kräfte auf die Fest- punkte Großer Dehnungs- ausgleich bei kleiner Länge Große Lebensdauer bei Wechselbelastung 	<ul style="list-style-type: none"> Ausgleich relativ großer Dehnungen möglich Geringer Platzbedarf Geringer Druckver- lust Günstig bei hoher Abrasion, da Wand- dicke und Material frei wählbar Günstig bei großer chemischer Bean- spruchung aufgrund relativ freier Mate- rialauswahl Hohe Drücke mög- lich
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> Großer Platzbedarf Hoher Druckverlust Hohe Rückstell- kräfte auf die Fest- punkte Spannungen oft nicht genau erfass- bar In den Bögen evtl. erhöhte Abrasion und Korrosion Höhere Fehlerquelle durch relativ viele Schweißnähte 	<ul style="list-style-type: none"> Balg empfindlich gegen Verschmutz- ung (Ablagerungen, Schweißspritzer usw.) und mechanische Beschädigung Große Rückstellkräfte auf die Festpunkte bei Axialkompensatoren Bei langen Kompensatoren Knickgefahr (Leitrohr erforderlich, damit eingeschränkte Lateral- und Angularbewegung) Keine freie Material- wahl 	<ul style="list-style-type: none"> Elastomerkompensatoren verschleiß- anfällig und für hohe Drücke und Tempera- turen ungeeignet Gewebekompensatoren i. Allg. nur für Gase Alterung der Elastomere 	<ul style="list-style-type: none"> Wartung erforderlich Keine Lateral- und Angularbewegung möglich Strömungsrichtung festgelegt

Druckverlustzahlen von Formstücken (Fortsetzung)

T-Stücke im Vergleich



Rechtwinklige Umlenkungen



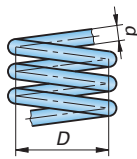
Rohrstrahlen

$$\zeta = \zeta_R \cdot \left[1 + 0,02 \cdot Re^{0,75} \cdot \left(\frac{d}{D} \right)^{0,42} \right]$$

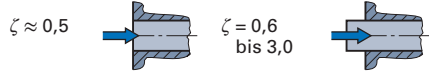
für $500 \leq Re \leq 4000$ und $12 \leq D/d \leq 120$

$\zeta \approx \zeta_R$ für $Re = 20\,000 \dots 70\,000$ und $20 \leq D/d \leq 85$

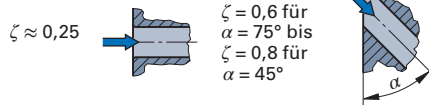
ζ_R Druckverlustzahl der gestreckten Leitung bei gleicher Reynoldszahl



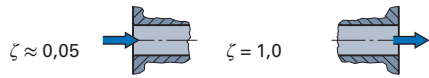
Rohrein- und -ausläufe



Einlauf, scharfkantig

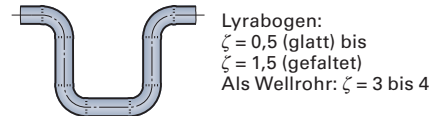


Einlauf, leicht gerundet $\zeta = 0,5 + 0,3 \cdot \cos \alpha + 0,2 \cdot \cos^2 \alpha$



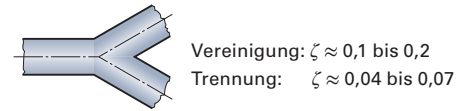
Einlauf, gut gerundet (möglich bis $\zeta = 0,005$) Bei sehr unregelmäßigem Auslauf ζ bis 2,0

Dehnungsausgleicher (Kompensatoren)

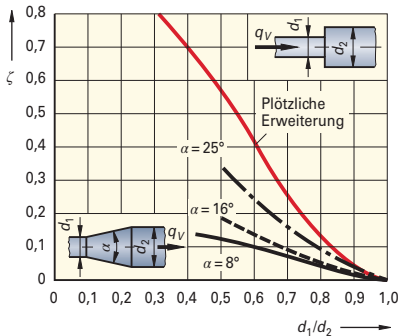


Wellrohr-Kompensatoren: mit Leitrohr ζ bis 0,3 ohne Leitrohr ζ bis 2,0

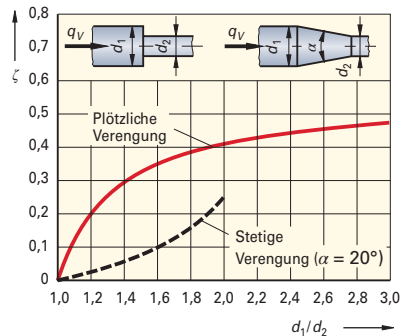
Hosenrohre



Rohrerweiterungen



Rohrverengungen



4

Kreiselpumpen mit axialem Eintritt

(nach DIN EN ISO 2858:2011-12)

Viele Pumpenhersteller bieten ein um einige Pumpengrößen erweitertes Grundprogramm nach DIN EN ISO 2858 an.

Pumpengröße: Die Bezeichnung setzt sich aus Nennweite und Laufradnennendurchmesser zusammen. So gilt z. B. für die Pumpengröße 80 – 50 – 200: Das Flanschanschlussmaß für den Eintritt ist DN 80, für den Austritt DN 50, der Laufraddurchmesser beträgt 200 mm.

Die in der folgenden Übersichtstabelle angegebenen Nennförderhöhen und Nennförderströme sind Berechnungs- bzw. Auslegungswerte, mit denen man meist den Betriebspunkt des besten Wirkungsgrades anstrebt (also nur Richtwerte). Die genauen Werte müssen beim jeweiligen Pumpenhersteller erfragt werden.

Nennleistung (Nennförderströme und Nennförderhöhen) von Kreiselpumpen PN 16

Pumpengröße	Drehzahl $n = 1450 \text{ min}^{-1}$		Drehzahl $n = 2900 \text{ min}^{-1}$							
	Nennförderstrom Q in m^3/h	Nennförderhöhe H in m	Nennförderstrom Q in m^3/h	Nennförderhöhe H in m						
50 – 32 – 125 50 – 32 – 160 50 – 32 – 200 50 – 32 – 250	6,3	5 8 12,5 20	12,5	20 32 50 80						
65 – 50 (40) – 125 65 – 50 (40) – 160 65 – 40 – 200 65 – 40 – 250 65 – 40 – 315		12,5		5 8 12,5 20 32	25	20 32 50 80 125				
80 – 65 (50) – 125 80 – 65 (50) – 160 80 – 50 – 200 80 – 50 – 250 80 – 50 – 315				25		5 8 12,5 20 32	50	20 32 50 80 125		
100 – 80 (65) – 125 100 – 80 (65) – 160 100 – 65 – 200 100 – 65 – 250 100 – 65 – 315						50		5 8 12,5 20 32	100	20 32 50 80 125
125 – 80 – 160 125 – 80 – 200 125 – 80 – 250 125 – 80 – 315 125 – 80 – 400	80		8 12,5 20 32 50					160		32 50 80 125 –
125 – 100 – 200 125 – 100 – 250 125 – 100 – 315 125 – 100 – 400			100 alternativ 125							12,5 20 32 50
150 – 125 – 250 150 – 125 – 315 150 – 125 – 400		200	20 32 50		–					–
200 – 150 – 250 200 – 150 – 315 200 – 150 – 400			315 alternativ 400	20 32 50			–			–

Auswahl weiterer Normen zu Pumpen:

- DIN EN ISO 16 330: Oszillierende Verdrängerpumpen – Technische Anforderungen
- DIN 24250: Kreiselpumpen; Benennung und Benummerung von Einzelteilen
- DIN EN ISO 17 769-1: Flüssigkeitspumpen – Allgemeine Begriffe für Pumpen und Pumpenanlagen – Definitionen, Größen, Formelzeichen und Einheiten
- DIN 24251: Wasserhaltungspumpen
- DIN EN ISO 14 847: Rotierende Verdrängerpumpen – Technische Anforderungen
- DIN EN 734: Seitenkanalpumpen PN 40; Nennleistung; Hauptmaße; Bezeichnungssystem
- DIN EN 733: Kreiselpumpen mit axialem Eintritt PN 10 mit Lagerträger
- DIN EN 22858: Kreiselpumpen mit axialem Eintritt PN 16 – Bezeichnung; Nennleistung; Abmessungen
- DIN 24289-1: Oszillierende Verdrängerpumpen und -aggregate; technische Festlegungen

Überschlägige Berechnung der erforderlichen Wärmeaustauschfläche

Allgemeiner Berechnungsgang:

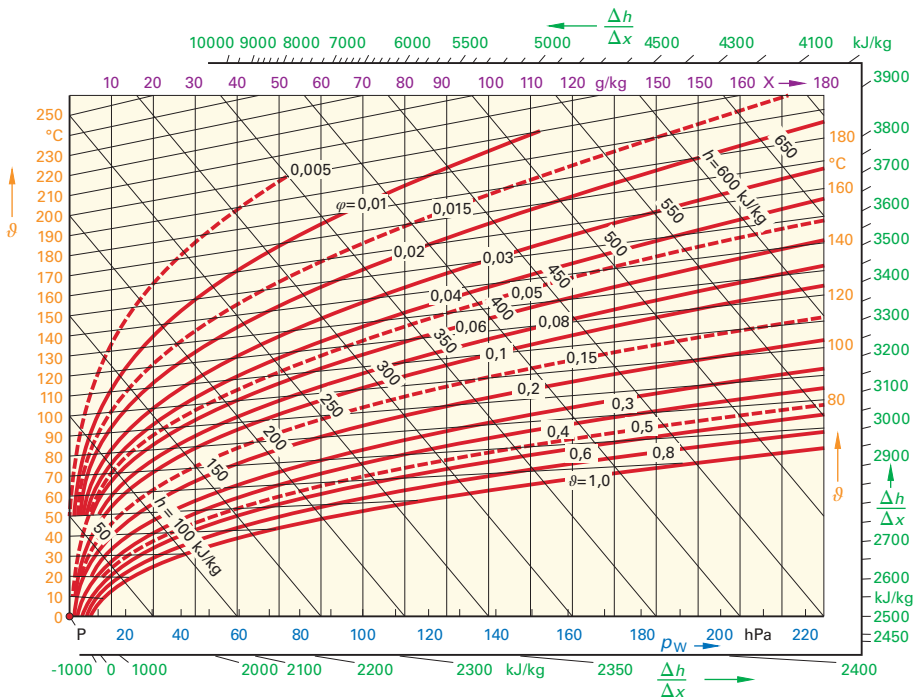
- A Wahl des K-Wertes nach Tabelle** (abhängig von der Bauart des Wärmeaustauschers, von den austauschenden Medien und von den Strömungsverhältnissen)
- B Berechnung der erforderlichen Heiz- oder Kühlmittelmenge** (q_{m1} oder q_{m2}) oder, wenn diese Massenströme vorgegeben sind, Berechnung der Heiz- oder Kühlmittelaustrittstemperatur (ϑ_{12} oder ϑ_{22}) aus der Bilanzgleichung für den Wärmestrom
- C Berechnung der mittleren logarithmischen Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta_m$**
- D Berechnung des erforderlichen Wärmestromes Φ**
- E Berechnung der erforderlichen Austauschfläche A_{eff}** aus den Größen K , Φ und $\Delta\vartheta_m$

A Wahl des K-Wertes (Näherungswert)

Bauart des Wärmeaustauschers	Austauschbedingungen	K-Wert in $W/(m^2 \cdot K)^1$
Rohrbündel-Wärmeaustauscher	Wasser – Wasser	≈ 800 ... 2000
	Flüssigkeit – Flüssigkeit	150 ... 1400 (2000)
	Wässrige Lösung – Wasser	500 ... 1000
	Heizdampf (Außenraum) – Flüssigkeit (in den Rohren)	300 ... 1200 (2500)
	Organisches Lösemittel – Wasser	600 ... 1000
	Flüssigkeit – Gas ($p_{\text{abs}} \approx 1$ bar)	15 ... 80
	Flüssigkeit – Gas ($p_{\text{abs}} > 200$ bar)	200 ... 400
	Gas – Gas (beide Seiten $p_{\text{abs}} \approx 1$ bar)	5 ... 35
	Gas – Gas (beide Seiten $p_{\text{abs}} > 200$ bar)	150 ... 500
	Organischer Dampf (Außenraum) – Kühlwasser (innen)	300 ... 1200
	Kondensierender Wasserdampf – Wasser	1200 ... 2000
	Kondensierender Heizdampf (Außenraum) – verdampfende Flüssigkeit (in den Rohren)	300 ... 3000
	– bei zäher Flüssigkeit	300 ... 900
– bei niedrigviskoser Flüssigkeit	600 ... 1800	
– bei erzwungenem Umlauf in den Rohren	900 ... 3000	
Öl – Wasser	200 ... 500	
Kondensierendes Lösemittel – Wasser	800 ... 1000	
Doppelrohr-Wärmeaustauscher	Flüssigkeit – Flüssigkeit	300 ... 1400
	Flüssigkeit – Gas ($p_{\text{abs}} \approx 1$ bar)	200 ... 600
	Flüssigkeit – Hochdruckgas	400 ... 900
	Wässrige Lösung – Wasser	300 ... 400
	Gas – Gas (auf beiden Seiten $p_{\text{abs}} \approx 1$ bar)	10 ... 35
	Gas – Gas (auf beiden Seiten Hochdruck)	150 ... 500
Spiral-Wärmeaustauscher	Wässrige Lösung – Wasser	1000 ... 1500
	Flüssigkeit – Flüssigkeit	1000 ... 2500
	Dampf – Flüssigkeit	900 ... 3000
	Kondensierendes Lösemittel – Wasser	≈ 600
	Organisches Lösemittel – Wasser	800 ... 1200
	Kondensierender Wasserdampf – Wasser	≈ 2000
Öl – Wasser	300 ... 400	
Platten-Wärmeaustauscher	Flüssigkeit – Flüssigkeit	1200 ... 4500
	Wasser – Wasser	... 7000
	Wässrige Lösung – Wasser	... 5000
	Organisches Lösemittel – Wasser	≈ 1000
	Öl – Wasser	≈ 700
	Gas – Flüssigkeit	20 ... 100
	Kondensierendes Lösemittel – Wasser	≈ 500
	Kondensierender Wasserdampf – Wasser	≈ 6500

Trocknung im Luftstrom (Konvektionstrocknung)

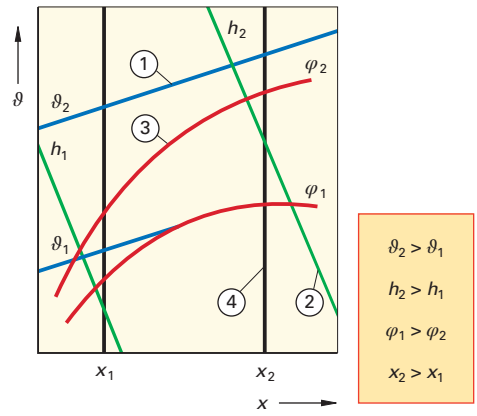
h-x-Diagramm für feuchte Luft nach Mollier



4

Bedeutung der Linien im h-x-Diagramm:

- ① **Von links nach rechts ansteigende Geraden:**
Linien konstanter Temperatur (Isothermen)
- ② **Von links nach rechts fallende Geraden:**
Linien konstanter spezifischer Enthalpie (Isenthalpen)
- ③ **Von links nach rechts ansteigende Kurven:**
Linien konstanter relativer Feuchte φ für einen Druck von $p_{abs} = 1$ bar. Bei abweichenden Drücken wird φ durch $\varphi' = \varphi/p$ ersetzt.
- ④ **Senkrechte Geraden:**
Linien konstanter Beladung x

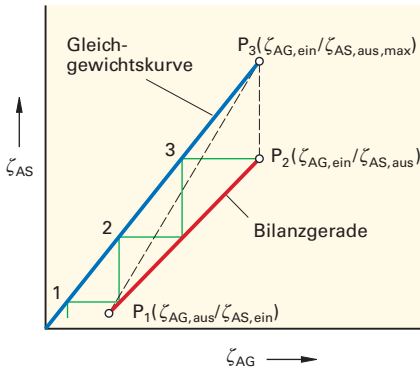


Bewegt man sich im h-x-Diagramm auf einer Linie, so ändert sich die entsprechende Größe nicht.

Absorption

Die folgenden Ausführungen gelten für den Fall, dass aus einem binären Gasgemisch (**Trägergas** mit nur einer Fremdkomponente, dem **Absorptiv**, beladen) das Absorptiv mit Hilfe eines Lösemittels (**Solvent**, **Absorbens** oder **Aufnehmerphase**) absorbiert wird. Dabei wird von großer Verdünnung (wie in der Praxis meist üblich) ausgegangen.

Die zum Erreichen einer bestimmten Endbeladung im Trägergas erforderliche **theoretische Trennstufenzahl** entspricht der **Anzahl der Stufen zwischen Gleichgewichtskurve und Bilanzgerade** im Diagramm $\zeta_{AS} = f(\zeta_{AG})$.



Gleichgewichtskurve

Die Gleichgewichtskurve wird aus experimentellen Daten erstellt oder aus den mit folgender Formel ermittelten Werten:

$$\zeta_{AS} = \frac{\frac{M_A}{M_S} \cdot p \cdot \zeta_{AG}}{\left(\zeta_{AG} + \frac{M_A}{M_G}\right) \cdot H - p \cdot \zeta_{AG}}$$

mit

$$\zeta_{AG} = \frac{m_{AG}}{m_G}$$

und

$$\zeta_{AS} = \frac{m_{AS}}{m_S}$$

Ist die *Henry-Konstante H* nicht bekannt, kann sie aus dem *bunsenschen* Absorptionskoeffizienten α berechnet werden:

$$H = \left(1 + \frac{22,414 \cdot \rho_S}{\alpha \cdot M_S}\right) \cdot 1,013$$

Bilanzgerade

Die Bilanzgerade wird zwischen den Punkten P₁ und P₂ gezogen. Da in der Praxis im Allgemeinen die Punkte $\zeta_{AG,ein}$, $\zeta_{AG,aus}$ und $\zeta_{AS,ein}$ bekannt sind, muss $\zeta_{AS,aus}$ berechnet werden:

$$\zeta_{AS,aus} = \frac{q_{m,G}}{q_{m,S}} \cdot \zeta_{AG,ein} + \zeta_{AS,ein} - \frac{q_{m,G}}{q_{m,S}} \cdot \zeta_{AG,aus}$$

- ζ_{AS} Massenverhältnis Absorptiv zu Lösemittel (Solvent) (ohne Einheit)
- ζ_{AG} Massenverhältnis Absorptiv zu Trägergas (ohne Einheit)
- M_A Molare Masse des Absorptivs in kg/kmol
- M_S Molare Masse des Lösemittels (Solvents) in kg/kmol
- M_G Molare Masse des Trägergases in kg/kmol
- p Gesamtdruck in der Absorptionsanlage in bar
- H Henry-Konstante in bar
- m_{AG} Masse Absorptiv im Trägergas in kg
- m_{AS} Masse Absorptiv im Lösemittel (Solvent) in kg
- m_G Masse Trägergas in kg
- m_S Masse Lösemittel (Solvent) in kg
- ρ_S Dichte des Lösemittels (Solvents) in kg/m³
- α *Bunsenscher Absorptionskoeffizient* in m³/m³ (gibt an, wie viel m³ Absorptiv, auf $p = 1,013$ bar und $\theta = 0$ °C berechnet, sich bei der gegebenen Temperatur in $V = 1$ m³ Lösemittel bei $p = 1$ bar Druck lösen)
- $q_{m,G}$ Massenstrom Trägergas in kg/s
- $q_{m,S}$ Massenstrom Lösemittel (Solvent) in kg/s
- v Verhältnis Massenstrom Lösemittel zu Massenstrom Trägergas (ohne Einheit)

Indizes:

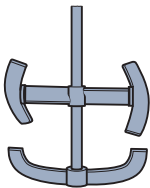

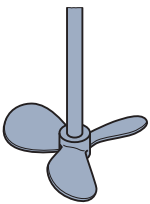
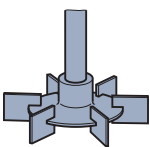
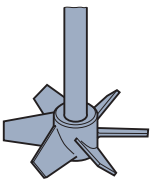
- ein Eintritt in die Anlage
- aus Austritt aus der Anlage
- max Maximaler Wert
- min Minimaler Wert

Das Mindestverhältnis von Lösemittel zu Trägergas beträgt:

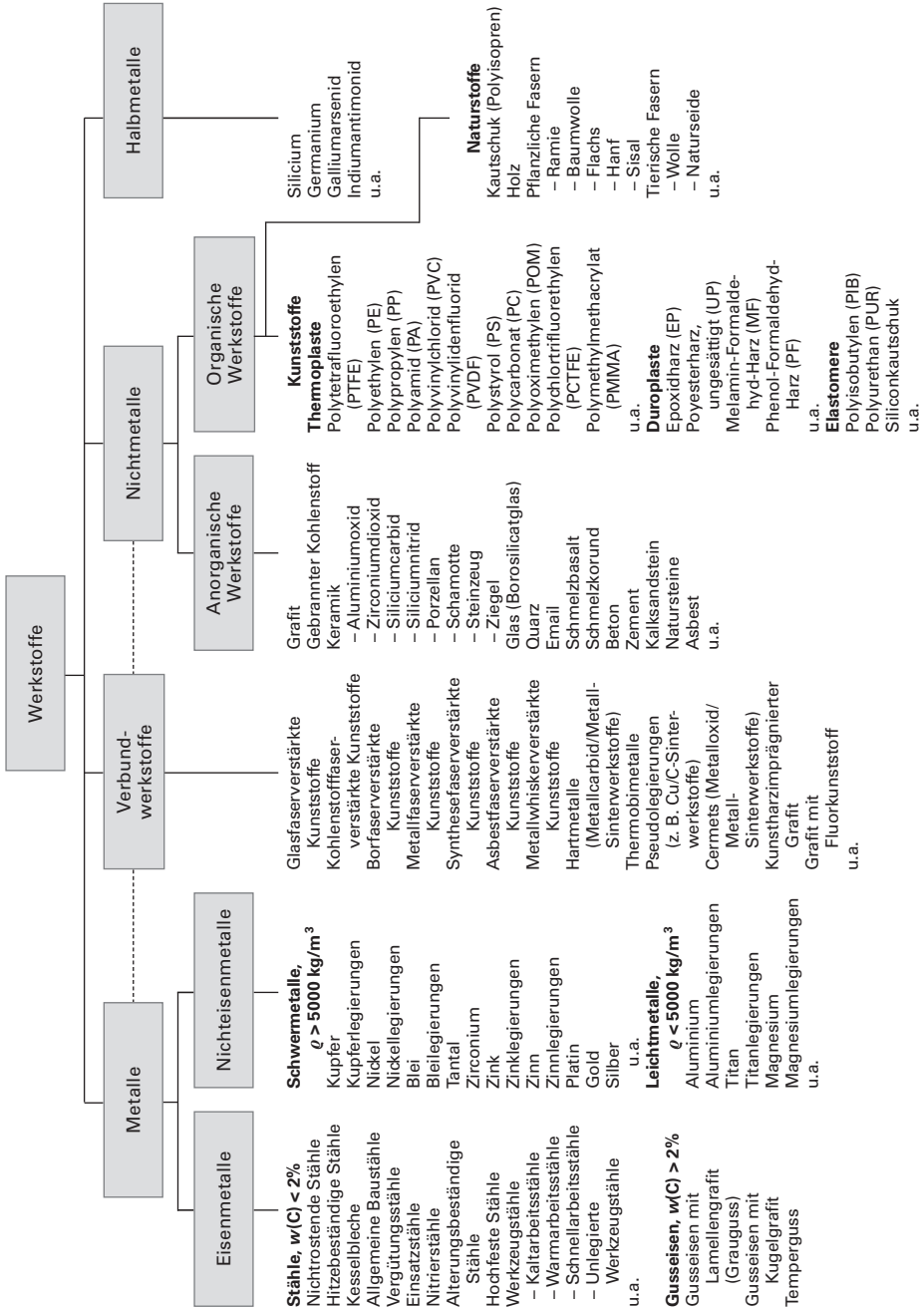
$$v_{min} = \left(\frac{q_{m,S}}{q_{m,G}}\right)_{min} = \frac{\zeta_{AG,ein} - \zeta_{AG,aus}}{\zeta_{AS,aus,max} - \zeta_{AS,ein}}$$

In der Praxis wird im Allgemeinen gewählt:


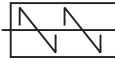









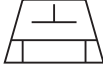

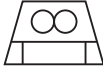

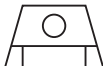






$$v = 1,3 \dots 1,6 \cdot v_{min}$$

Rührer (Fortsetzung)					
Rührer im Vergleich					
Rührer	Überwiegende Strömungsrichtung	Viskositätsbereich in Pa · s	Umfangsgeschwindigkeit in m/s	Leistungszahl Ne (turbulent)	Bemerkung
Alpha®-Rührer 	axial-radial	bis ca. 400	0,5 ... 4,0	0,25	$d_2/d_1 \approx 0,9$ Intensives und schonendes Homogenisieren im mittel- bis hochviskosen Bereich (preiswerte Wendelrührerausführung) Guter Feststoffeinzug von der Oberfläche Einsatz im Übergangsbereich zwischen laminar und turbulent
Wendelrührer 	axial	50 ... 1000	bis 2	440	$d_2/d_1 \approx 0,9 \dots 0,98$ (i. Allg. 0,9) Zum Homogenisieren und Intensivieren des Wärmeaustauschs in hochviskosen Medien (wandgängig) Einsatz im laminaren Bereich
Propellerrührer 	axial	bis 10	2 ... 15	0,35 ... 0,85	$d_2/d_1 \approx 0,05 \dots 0,5$ (i. Allg. 0,33) Zum Homogenisieren, Dispergieren (flüssig/flüssig und flüssig/fest), Umwälzen und Fördern niedrig bis mittelviskoser Medien Zentrischer und exzentrischer Einbau Einsatz im turbulenten Bereich
Scheibenrührer 	radial	bis 10 max. ≈ 15	2 ... 7	5,5	$d_2/d_1 \approx 0,2 \dots 0,5$ (i. Allg. 0,33) Zum Dispergieren nicht mischbarer Flüssigkeiten und zum Begasen Hohe Scherkräfte Einsatz im turbulenten Bereich
Schräglattrührer 	axial-radial	bis 10 max. ≈ 50	3 ... 10	1,5	$d_2/d_1 \approx 0,15 \dots 0,5$ (i. Allg. 0,33) Zum Homogenisieren, Dispergieren (flüssig/flüssig und flüssig/fest), Suspendieren und Umwälzen Wirkung entspricht einer Kombination von Propeller- und Scheibenrührer Einsatz im laminaren und turbulenten Bereich

Einteilung der Werkstoffe



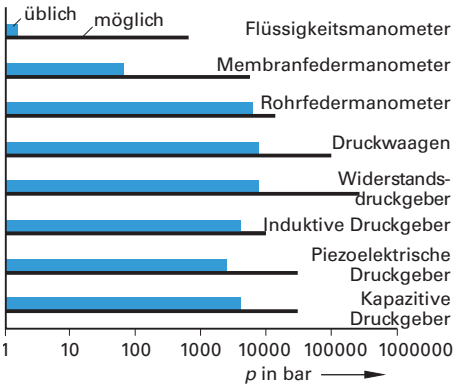
Grafische Symbole (Bildzeichen) (Fortsetzung) (nach DIN EN ISO 10628-2:2013-05)

Einrichtungen zum Mischen und zur Formgebung (Rührer, Knetter und Pressen)			
Grafisches Symbol	Bedeutung	Grafisches Symbol	Bedeutung
 RW	Rührer (allgemein)	 MK	Rotationsmischer
 RW	Ankerrührer	 MK	Statischer Mischer
 RW	Propellerrührer	 MK	Knetter
 RW	Scheibenrührer	 MK	Mischstrecke
 RW	Kreiselrührer bzw. Turbinenrührer	 FV	Formgebungsmaschine (allgemein, vertikal arbeitend)
 RW	Impellerrührer	 FV	Stempelpresse
 RW	Wendelrührer	 FV	Walzenpresse
 RW	Kreuzbalkenrührer	 FV	Pelletierteller
 RW	Giterrührer	 FH	Formgebungsmaschinen (allgemein, horizontal arbeitend)
 RW	Blattrührer	 FH	Schneckenpresse
 MK	Mischdüse bzw. Injektor	 FH	Strangpresse

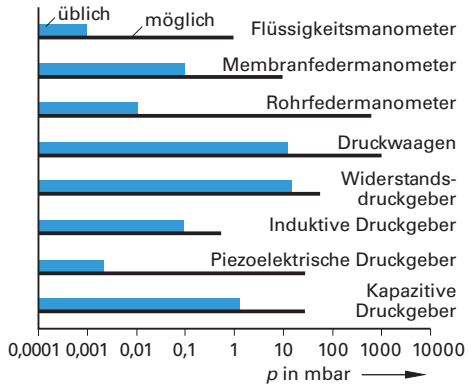
Druckmessung

Größte und kleinste Messbereiche der wichtigsten industriellen Druckmessgeräte

Größte Messbereiche:



Kleinste Messbereiche:



Die wichtigsten industriellen Druckmessgeräte im Vergleich

Rohr-(Kreis-, Spiral- oder Schrauben-) federmanometer

Übliche Messbereiche: 600 mbar ... 7000 bar (Spezialausführungen bis 0,01 mbar)
 Minimaler Messfehler: 0,1 % des Messwertes, 0,06 % in Spezialausführungen
 Einsatztemperatur: - 25 °C ... > 100 °C

- Für Flüssigkeiten und Gase geeignet
- Lineare Skalen
- Temperaturfehler kleiner als bei Plattenfedermanometer (aber größer als bei Kapselfedermanometer)
- In besonderer Ausführung auch für Differenzdruckmessung geeignet
- Leichter zu fertigen als Plattenfedermanometer
- Einsatz in aggressiver Umgebung möglich
- Größere Messwege als Plattenfedermanometer
- Geräte mit elektrischem Ausgang erhältlich
- Füllung mit Dämpfungsflüssigkeit (Glycerin oder Siliconöl) zur Dämpfung von Erschütterungen und schnellen Lastwechseln möglich
- Für viskose und kristallisierende Messmedien weniger geeignet (evtl. Kombination mit Druckmittlern)
- Empfindlich gegen Vibrationen, Erschütterungen und schnell wechselnde Drücke
- Nur begrenzt gegen Überlast zu schützen (Überlastsicherheit meist bis ca. 1,3fach, möglich bis ca. 2fach)
- Relativ geringe Stellkraft

Plattenfedermanometer

Übliche Messbereiche: 10 mbar ... 40 bar
 Minimaler Messfehler: 1,6 % des Skalendendwertes (0,6 % möglich)
 Einsatztemperatur: - 25 °C ... > 100 °C




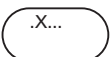

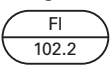

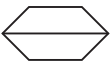
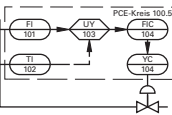
- Für Flüssigkeiten und Gase geeignet
- Unempfindlicher gegen Vibrationen, Erschütterungen und schnell wechselnde Drücke als Rohrfedermanometer
- Durch Abfangen große Überlast (bis 10fach) möglich
- Durch Beschichtung oder vorgelegte Folien besser gegen Korrosion zu schützen als Rohrfedermanometer
- Je nach Konstruktion auch für hochviskose und kristallisierende Messmedien geeignet
- Besonders für kleinere positive und negative Überdrücke geeignet
- Relativ große Stellkraft
- Kurze Einstellzeit
- Zur Messung kleinerer Differenzdrücke bei relativ hohen statischen Drücken geeignet
- Temperaturfehler z. T. doppelt so groß wie beim Rohrfedermanometer
- Ausführungen mit Dämpfungsflüssigkeit (Glycerin oder Siliconöl) zur Dämpfung von Vibrationen, Erschütterungen und schnellen Lastwechseln

7

Darstellung von Aufgaben der Prozessleittechnik (nach DIN EN 62424:2017-12)

Die Norm DIN EN 62424 zeigt, wie die Aufgaben der Prozessleittechnik in einem R&I-Fließschema darzustellen sind. Sie dient zum Datenaustausch zwischen EDV-Werkzeugen zur Fließbilderstellung und CAE-Systemen. CAE: Process Control Engineering (ingenieurtechnische Auslegung der Prozessleittechnik).

Wichtige Begriffe:

<p>Aktor, Steller z. B.</p> 	<p>Funktionseinheit (z. B. wie dargestellt ein pneumatisch angesteuertes Ventil) mit der Aufgabe, die Stellgröße zu bilden, die in Abhängigkeit von der Reglerausgangsgröße zur Betätigung des Stellgliedes bzw. dessen Stellantriebs erforderlich ist.</p>
<p>Oval</p> 	<p>In diesem Symbol werden in der <i>oberen Hälfte</i> die PCE-Kategorie (z. B. Füllstand) und die Verarbeitungsfunktion einer PCE-Aufgabe (z. B. Analoganzeige) eingetragen und in der unteren Hälfte deren eindeutige Kennzeichnung (z. B. durch eine Buchstaben- und Zahlenfolge nach bestimmtem Schlüssel)</p>
<p>PCE-Kategorie</p> 	<p>Kennbuchstabe (Erstbuchstabe in der oberen Hälfte des Ovals), der die Aufgabe an die Prozessleittechnik kenntlich macht, z. B. Kennbuchstabe für die zu messende Variable, etwa Füllstand L, Temperatur T usw. (siehe Tabelle)</p>
<p>PCE-Verarbeitungsfunktion</p> 	<p>Funktion in einem Prozess (wie soll ein Messwert weiter verarbeitet werden, z. B. analog angezeigt, aufgezeichnet bzw. registriert usw.). Die PCE-Verarbeitungsfunktionen werden durch Kennbuchstaben (Folgebuchstaben) nach dem Erstbuchstaben in der <i>oberen Hälfte</i> des Ovals dargestellt, die dem Kennbuchstaben für die PCE-Kategorie folgen.</p>
<p>PCE-Kennzeichnung</p> 	<p>Kennzeichnung zur eindeutigen Identifizierung einer PCE-Aufgabe (IEC 81346-1). Die Struktur kann ortsabhängig (wo befindet sich das Objekt?), funktionsabhängig (welche Aufgabe hat es?) oder produktabhängig (wovon ist es Teil, wie ist es zusammengesetzt?) sein. Z. B. ortsabhängig: Werk 05, Gebäude G820, Filteranlage 3, Füllstandmessgerät 102 könnte zur Referenzkennzeichnung 05.G820.3.102 zusammengefasst werden. Die PCE-Kennzeichnung 102 wird als letzte Ebene der Referenzkennzeichnung in die <i>untere Hälfte des Ovals oder Sechsecks</i> geschrieben.</p>
<p>PCE-Aufgabe</p> 	<p>Aufgabe an die Prozessleittechnik. Jede PCE-Aufgabe wird im R&I-Fließschema durch ein Oval dargestellt mit allen Informationen über die Funktionsanforderungen (PCE-Kategorie, PCE-Verarbeitungsfunktion, PCE-Kennzeichnung, Geräteinformationen, Ort der Bedienoberfläche usw.)</p>
<p>PCE-Leitfunktion</p> 	<p>Funktion der Prozessverarbeitung (beinhaltet im Wesentlichen den funktionalen Zusammenhang zwischen Sensor und Aktor (Steller). Symbol für die Leitfunktion ist ein Sechseck mit einem U als Erstbuchstabe. Danach folgen ein oder mehrere Kennbuchstaben für die PCE-Verarbeitungsfunktionen (siehe Tabelle). Sicherheitsrelevante Leitfunktionen beginnen mit UZ und zeigen das geforderte SIL (Sicherheitsintegritäts-Level nach IEC 61511-1) oder PL (Performance-Level nach ISO 3849-1 <i>links unten außerhalb des Sechsecks</i>). Ist bei einfachen Konfigurationen der Zusammenhang im R&I-Fließschema eindeutig erkennbar (z. B. ein Füllstandsensord, der einen Stellantrieb für ein Bodenventil beeinflusst) kann die PCE-Leitfunktion weggelassen werden.</p>
<p>Sechseck</p> 	<p>In diesem Symbol wird in der <i>oberen Hälfte</i> die Steuerfunktion angegeben (Kennbuchstabe U, wenn sicherheitsrelevant UZ, nachgestellt Kennbuchstaben für die PCE-Verarbeitungsfunktionen, z. B. S für binäre Steuerungs- bzw. Schaltfunktion). In der <i>unteren Hälfte</i> steht die Referenzkennzeichnung. Links neben dem Sechseck stehen <i>oberhalb der waagerechten Linie</i>, falls vorhanden, Unterlieferant und Typikalkennzeichen, <i>unterhalb</i> gegebenenfalls Geräteinformationen. Wird kein Unterlieferant angegeben, können im entsprechenden Feld andere projektspezifische Angaben gemacht werden.</p>
<p>PCE-Kreis</p> 	<p>Zusammenstellung von PCE-Aufgaben und PCE-Leitfunktionen, die deren funktionellen Zusammenhang bzw. deren Zusammenwirken darstellt (bestehend aus einer oder mehrerer PCE-Aufgaben und PCE-Leitfunktionen). Für den PCE-Kreis gibt es keine eigene grafische Darstellung. Er ist also nicht zu verwechseln mit dem MSR-Stellenkreis nach der ehemaligen DIN 19227. Dem PCE-Kreis kann gegebenenfalls die Kennzeichnung „PCE-Kreis XXXX“ zugewiesen werden.</p>