



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

11. erweiterte Auflage

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger 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 439ff. beschriebene Auslegung einer Rektifikationsanlage kann unter dem Link <https://lv-soft.net/tbch> mit moderner professioneller Software nachvollzogen und durchgeführt werden.

11. erweiterte Auflage 2019

Druck 5 4 3 2 1

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

ISBN 978-3-8085-2516-6

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

© 2019 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Umschlaggestaltung: braunverbeagentur, Radevormwald
unter Verwendung eines Fotos von © johnmerlin – stock.adobe.com

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

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 **Verfahrensingenieur**, 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 Lehrer 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: November 2018, (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 namhaften Chemikalienhersteller und in anderen Datenträgern aus der Praxis (Beständigkeitstests, 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 10. Auflage existieren folgende Veränderungen:

1. Die Inhalte wurden an die aktuellen Normen angepasst.
2. Die Gefahrstoffliste wurde aktualisiert und ergänzt (Stand: 02.2019)
3. Fehler wurden beseitigt
4. Als zusätzliche Themen wurden aufgenommen:

Ausgewählte Formeln der höheren Mathematik, Gefährdungsbeurteilungen, Probenahmen, Schrauben und Muttern, Befahren von Behältern, Dichtheitsprüfungen, Korrosionsgrößen, Rockwellhärte und Normung der Kupferwerkstoffe, **Beispiel für die überschlägige Auslegung einer Rektifikationsanlage mit Link zur korrierenden Auslegung mit professioneller Software**.

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.

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

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

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

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

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

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	Lösungen	
Luftfeuchte	82	Eigenschaften wichtiger Lösemittel I	110
Temperaturstrahlung (Wärmestrahlung)	83	Eigenschaften wichtiger Lösemittel II	112
Wärmeaustausch durch Strahlung	83	Lösemittel und Trockenmittel	114
Wärmeleitung in einer Wand	84	Löslichkeit anorganischer Verbindungen in Wasser (Feststoffe)	116
Grundgleichungen für den Wärmedurchgang	85	Löslichkeit von Gasen in Wasser	119
Zustandsänderung von Gasen	86	Löslichkeitsprodukt	120
Gasverbrauch bei Druckgasflaschen	86	Dichte wässriger Lösungen	121
Verdichtung von Gasen	87		
Elektrotechnik			
Elektrische Stromstärke und elektrische Spannung	88	Analytik	
Elektrischer Widerstand und elektrischer Leitwert	88	Säure-Base-Indikatoren	123
Ohmsches Gesetz	89	Gravimetrie (Gewichtsanalyse)	124
Schaltung von elektrischen Widerständen	89	Volumetrie (Maßanalyse)	125
Messbereichserweiterung bei Messinstrumenten	90	Volumetrische Faktoren (maßanalytische Äquivalente)	126
Elektrische Leistung und elektrische Arbeit	90	Puffergemische	128
Kosten für elektrische Arbeit	90		
Umwandlung elektrischer Energie in Wärmeenergie	91	Stoffdaten	
Akkumulator	91	Stoffdaten ausgewählter chemischer Verbindungen	129
Leistungsbestimmung mit dem Wechselstromzähler	92		
Elektroabscheidung	92		
Thermoelektrische Erscheinungen	92		
Elektrochemie			
Elektrische Leitfähigkeit (Konduktivität) von Flüssigkeiten	93	Physikalische Chemie	
Molare elektrische Leitfähigkeit (Äquivalentleitfähigkeit) von Elektrolyten	94	Dissoziationskonstanten von Säuren und Basen in wässriger Lösung	145
Faradaysche Gesetze, elektrochemisches Äquivalent	95	Ionenaktivität	148
Elektrodenpotentiale	96	Ionenprodukt des Wassers	149
Strahlungsoptik			
Brechung (Refraktion)	97	Äquivalentleitfähigkeit von Elektrolyten in wässriger Lösung	149
Sphärische Linsen und Hohlspiegel	97		
Brechzahlen	99		
Mikroskop	100		
Extinktion (spektrales Absorptionsmaß)	100		
Linienspektren	100		
CH CHEMIE			
Chemische Elemente			
Eigenschaften der chemischen Elemente I	101	VT VERFAHRENSTECHNIK	
Eigenschaften der chemischen Elemente II	104	Anlagenplanung	
Elektronenkonfiguration der Elemente	108	Schema zur Planung und Realisierung einer verfahrenstechnischen Anlage	151
		Gefährdungsbeurteilung und Ausfallrisiko an einer Anlage	152
		Qualitätsmanagement	
		Grundsätze, Struktur und Ziele	154
		Grundlagen für Qualitätsmanagementsysteme	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	Dichtungswerkstoffe	214
Nenndurchmesser und Nennvolumen	164	Flachdichtungen	216
Befahren von Behältern, Silos und engen Räumen 1 – Gefahren und Ursachen.....	165	Profildichtungen	217
Befahren von Behältern, Silos und engen Räumen 2 – Gefahren und Maßnahmen..	166	Schweißdichtungen.....	217
Füllvolumen von Lagerbehältern.....	167	Beständigkeit von Dichtungsmaterialien ..	218
Bauteile – Benennungen.....	170	Vergleichende Betrachtung der wichtigsten Förderpumpen	222
Behälterkennzeichnung.....	171	Leistungsgrenzen der wichtigsten Förderpumpen.....	224
Schrauben und Muttern	172	Kreiselpumpen mit axialem Eintritt.....	226
Befahren von Behältern, Einstieg in enge Räume	174	Berechnung der erforderlichen Pumpenleistung (Antriebsleistung).....	227
Begriffe.....	176	NPSH-Wert	230
Prüfgase und Berechnungsformeln.....	179	Betriebspunkt einer Pumpe	231
Fördern von Stoffen			
Anfahren (Inbetriebnahme) von Pumpen ..	180	Verdichter – Grundlagen.....	232
Kennzeichnung von Rohrleitungen und ortsbeweglichen Gasflaschen.....	181	Verdichterbauarten und Einsatzbereiche...	233
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		
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			
Röhren – Grundlagen	272		
Rührer.....	273		
Mechanisches Trennen			
Korngrößenverteilung/Siebanalyse.....	278		
Filtration	281		
Sedimentation	282		

INHALTSVERZEICHNIS

Reaktionstechnik

Katalysatoren für die chemische Industrie	283
Katalysatoren für die Gasreinigung	288
Reaktionskinetik	289

WK WERKSTOFFKUNDE

Werkstoffe

Einteilung der Werkstoffe	293
Eigenschaften von Apparatewerkstoffen	294
Werkstoffauswahl	304
Preisrelationen wichtiger Werkstoffe für die chemische Industrie	306

Korrosion, Korrosionsschutz

Korrosionserscheinungen	307
Korrosionsarten	308
Korrosionsschutz	310
Inhibitoren	312
Vorbereitung von Metalloberflächen vor dem Beschichten	312
Normen zu Korrosion und Korrosionsschutz	313
Korrosionsgrößen	314

Werkstoffprüfung

Zugversuch	316
Härteprüfung	317
Rockwell-Härte	318
Rockwell-Härte – Mindestprobekörper- oder Prüfkörperficken	319
Härteln und 0,2-Grenzen bzw. Streckgrenzen ausgewählter Werkstoffe	320
Überblick über die wichtigsten Prüfverfahren	321

Normbenennung der Werkstoffe

Werkstoffnummern der Stähle	322
Werkstoffnummern der Gusseisenwerkstoffe	324
Kurznamen für Stähle, Hauptsymbole	325
Kurznamen für Stähle, Zusatzsymbole	327
Kurznamen für Stähle, Bezeichnungsbeispiele	329
Kurznamen für Gusseisenwerkstoffe	331
Systematische Bezeichnung der Nichteisenmetalle	332
Werkstoffnummern der Nichteisenmetalle	333
Normung der Kupferwerkstoffe	334
Kennbuchstaben und Kurzzeichen für Kunststoffe	335

TZ TECHNISCHES ZEICHNEN

Allgemeine Grundlagen des technischen Zeichnens

Papier-Endformate (Blattgrößen)	337
Maßstäbe	337
Linien in technischen Zeichnungen	337
Senkrechte Normschrift (Schriftform B, vertikal)	338
Darstellung von Körpern	338
Maßeintragungen	339

Fließschemata verfahrenstechnischer Anlagen

Grafische Symbole (Bildzeichen)	342
Kennbuchstaben für technische Einrichtungen (Apparate, Maschinen, Armaturen)	351
Darstellung von Apparaten und Maschinen ohne genormtes grafisches Symbol	351
Fließschemata und ihre Ausführung	352
Grundfließschemata	353
Verfahrensfließschemata	353
Rohrleitungs- und Instrumenten- fließschemata (RI-Fließschemata)	354

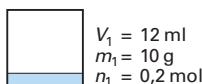
MSR MESSEN, STEUERN, REGELN

Industrielle Messtechnik

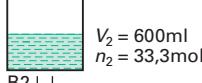
Einheitssignale in der Prozessautomation und Genauigkeit von Messgeräten	355
Temperaturmessung	357
Thermopare	359
Druckmessung	362
Füllstandmessung	365
Durchflussmessung	370
Volumenmessung	377

Prozesseleittechnik

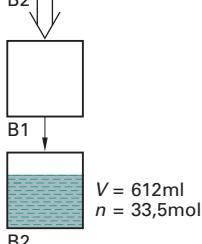
Grafische Symbole zur Darstellung der EMSR1-Aufgaben	381
Kennbuchstaben für die EMSR-Technik	382
Grafische Symbole für die Einwirkung auf die Strecke in EMSR-Anlagen	383
Beispiel für die Anwendung von EMSR-Stellen-Symbolen	384
Darstellung von Aufgaben der Prozesseleittechnik	385
Grafische Symbole für die Darstellung von Einzelheiten	389
Grundlagen der Steuerungs- und Regelungstechnik	392
Grundtypen stetiger Regler im Vergleich . .	393
Verknüpfungsfunktionen	394
GRAFCET-Funktionsplan	395

Zusammensetzung von Mischphasen (Fortsetzung)**Massenkonzentration ϱ (nach DIN 1310 β), Stoffmengenkonzentration c und Volumenkonzentration σ** **Massenkonzentration**

$$\varrho_i = \frac{m_i}{V} \quad \text{z. B.} \quad \varrho(\text{N}_2\text{H}_4) = \frac{m(\text{N}_2\text{H}_4)}{V}$$

 m_i Masse des Stoffes i V Gesamtvolumen der Mischung ($V_1 + V_2 + \dots + V_n$)**B Massenkonzentration des Stoffes 1 (nach Bild):**

$$\varrho_1 = \frac{m_1}{V} = \frac{m_1}{V_1 + V_2} = \frac{10 \text{ g}}{0,012 \text{ L} + 0,6 \text{ L}} = 16,34 \text{ g/L}$$

**Stoffmengenkonzentration**

$$c_i = \frac{n_i}{V} \quad \text{z. B.} \quad c(\text{NaOH}) = \frac{n(\text{NaOH})}{V}$$

 n_i Stoffmenge des Stoffes i V Gesamtvolumen der Mischung ($V_1 + V_2 + \dots + V_n$)**B Stoffmengenkonzentration des Stoffes 1 (nach Bild):**

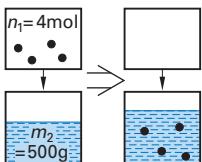
$$c_1 = \frac{n_1}{V} = \frac{n_1}{V_1 + V_2} = \frac{0,2 \text{ mol}}{0,012 \text{ L} + 0,6 \text{ L}} = 0,327 \text{ mol/L}$$

Volumenkonzentration

$$\sigma_i = \frac{V_i}{V} \quad \text{z. B.} \quad \sigma(\text{NH}_3) = \frac{V(\text{NH}_3)}{V}$$

 V_i Volumen des Stoffes i V Gesamtvolumen der Mischung ($V_1 + V_2 + \dots + V_n$)**B Volumenkonzentration des Stoffes 1 (nach Bild):**

$$\sigma_1 = \frac{V_1}{V} = \frac{V_1}{V_1 + V_2} = \frac{0,012 \text{ L}}{0,012 \text{ L} + 0,6 \text{ L}} = 0,0196$$

Molalität b **Molalität**

$$b_i = \frac{n_i}{m_k} \quad \text{z. B.} \quad b(\text{C}_{12}\text{H}_{10} \text{ in Benzol}) = \frac{n(\text{C}_{12}\text{H}_{10})}{m(\text{Benzol})}$$

 n_i Stoffmenge des Stoffes i m_k Masse des Stoffes k (Lösungsmittel)**B Molalität des Stoffes 1 (nach Bild):**

$$b_1 = \frac{n_1}{m_2} = \frac{4 \text{ mol}}{0,5 \text{ kg}} = 8 \frac{\text{mol}}{\text{kg}}$$

 $\bullet = 1 \text{ mol Stoff 1}$ **Äquivalentkonzentration c (eq)**

$$c_i (\text{eq}) = \frac{n_i (\text{eq})}{V}$$

 z. B.

$$c \left(\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4 \right) = \frac{n \left(\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4 \right)}{V}$$

Vor das Teilchensymbol wird der Bruch $\frac{1}{2}*$ gesetzt,
z. B. $\frac{1}{2}\text{Ca(OH)}_2$, $\frac{1}{2}\text{Mg}^{2+}$ oder
 $\frac{1}{3}\text{H}_3\text{PO}_4$ $n_i (\text{eq})$ Äquivalent-Stoffmenge des Stoffes i, V Gesamtvolumen der Lösung

1 Äquivalent ist der gedachte Bruchteil $m_{1/2}^*$ eines Atoms, Moleküls oder Ions. Dabei ist z^* der Betrag der Ladungszahl eines Ions (**Ionenäquivalent**) oder die Anzahl der H^+ - oder OH^- -Ionen, die ein Teilchen (Molekül oder Ion) bei einer bestimmten Neutralisationsreaktion aufnimmt oder abgibt (**Neutralisationsäquivalent**) oder der Betrag der Differenz der Oxidationszahlen eines Teilchens (oder eines in ihm enthaltenen Atoms) bei einer bestimmten Redox-Reaktion (**Redox-Äquivalent**).

B 20 g H_2SO_4 sind in 1 L Maßlösung enthalten. Die Äquivalentkonzentration beträgt dann:

$$c \left(\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4 \right) = \frac{n \left(\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4 \right)}{V} = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M \left(\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4 \right) \cdot V} = \frac{20 \text{ g}}{49 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 1 \text{ L}} = 0,408 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Viskosität (Zähigkeit)

Formelzeichen: Dynamische Viskosität: η Einheit: $\text{Pa} \cdot \text{s}$ $1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 1 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$
 Kinematische Viskosität: ν Einheit: m^2/s

Beziehung: $\eta = \nu \cdot \rho$ ρ Dichte des Fluids in kg/m^3 Viskosität von Zweistoffgemischen: $\eta_M = e^{x_1 \cdot \ln \eta_1 + x_2 \cdot \ln \eta_2}$
 x Stoffmengenanteil

Die Viskosität von Flüssigkeiten nimmt bei Temperaturerhöhung stark ab.

Die Viskosität von Gasen und Dämpfen nimmt bei Temperaturerhöhung schwach zu.

Dynamische Viskosität von Wasser bei verschiedenen Temperaturen ($p = 1 \text{ bar}$)				Dynamische Viskosität von trockener Luft in Abhängigkeit von Druck und Temperatur					
ϑ $^\circ\text{C}$	η $\text{Pa} \cdot \text{s}$	ϑ $^\circ\text{C}$	η $\text{Pa} \cdot \text{s}$	ϑ $^\circ\text{C}$	η in $10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}$				
					$p = 1 \text{ bar}$	$p = 5 \text{ bar}$	$p = 10 \text{ bar}$	$p = 50 \text{ bar}$	$p = 100 \text{ bar}$
0	$1793 \cdot 10^{-6}$	60	$466,5 \cdot 10^{-6}$	-50	14,55	14,63	14,74	16,01	18,49
10	$1307 \cdot 10^{-6}$	70	$404,0 \cdot 10^{-6}$	-25	15,90	15,97	16,07	16,98	18,65
20	$1002 \cdot 10^{-6}$	80	$354,4 \cdot 10^{-6}$	0	17,10	17,16	17,24	18,08	19,47
30	$797,7 \cdot 10^{-6}$	90	$314,5 \cdot 10^{-6}$	25	18,20	18,26	18,33	19,11	20,29
40	$653,2 \cdot 10^{-6}$	100	$281,8 \cdot 10^{-6}$	50	19,21	19,30	19,37	20,07	21,12
50	$547,0 \cdot 10^{-6}$			100	21,60	21,64	21,70	22,26	23,09
				200	25,70	25,73	25,78	26,20	26,77

Dynamische Viskosität von Flüssigkeiten bei 20 °C

Flüssigkeit	η in $10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$	Flüssigkeit	η in $10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
Aceton (Propanon)	0,30	Heptan	0,42
Aminobenzol (Anilin, Phenylamin)	4,4	n-Hexan	0,31
Ammoniak	0,13	Isobutanol (bei 15 °C)	4,70
Benzol (Benzen)	0,65	Methanol	0,55
1-Butanol	2,95	Methylacetat	0,38
2-Butanol	4,21	Methylenchlorid	0,43
n-Butylacetat	0,73	Methylethyketon (bei 15 °C)	0,42
Chlorbenzol	0,8	Nitrobenzol	2,0
Chloroform (Trichlormethan)	0,58	Nonan	0,72
Cyclohexan	0,98	Octan	0,54
Cyclohexanon	2,2	Pentan	0,24
Cyclopentan	0,44	Propan	0,10
o-Dichlorbenzol	1,5	1-Propanol	2,26
Diethylether	0,24	2-Propanol	2,4
Dimethylformamid	0,92	Pyridin	0,95
Diphenyl (100 °C) (70 °C)	0,97 1,49	Quecksilber (bei 25 °C)	1,55
Essigsäure	1,21	Salpetersäure, $w(\text{HNO}_3) = 20\%$	1,14
Essigsäureanhydrid	0,91	Salzsäure, $w(\text{HCl}) = 25\%$	1,36
Ethanol	1,19	Schwefelkohlenstoff	0,37
Ethylacetat	0,46	Schwefelsäure, $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 25\%$	1,4
Ethylenchlorid	0,83	Siliconöl (Dimethylsilicon bei 25 °C)	0,495
Glycerin (1,2,3-Propantriol, bei 25 °C)	1412	Tetrachlorethen (bei 15 °C)	0,39
Glycerin/Wasser-Gem. (bei 20 °C)		Tetrachlorkohlenstoff	
$w(\text{H}_2\text{O}) = 90\%$	1,31	(Tetrachlormethan)	0,97
$w(\text{H}_2\text{O}) = 70\%$	2,5	Toluol (Methylbenzol)	0,59
$w(\text{H}_2\text{O}) = 50\%$	6,0	Trichlorethen	0,57
$w(\text{H}_2\text{O}) = 30\%$	22,5	Wasser	1,00
$w(\text{H}_2\text{O}) = 10\%$	219	o-Xylool	0,81
Glycol (Ethylenglycol)	20,41	m-Xylool	0,65
Glycol/Wasser-Gem. (bei 25 °C)		p-Xylool	0,68
$w(\text{Glycol}) = 90\%$	13,0		
$w(\text{Glycol}) = 70\%$	6,5		
$w(\text{Glycol}) = 50\%$	3,5		
$w(\text{Glycol}) = 30\%$	1,6		
$w(\text{Glycol}) = 10\%$	$\approx 1,0$		

Eigenschaften wichtiger Lösemittel I

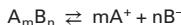
M	Stoffmengenbezogene (molare) Masse in g/mol	γ	Volumenausdehnungskoeffizient bei 25 °C
ϱ	Dichte in kg/m ³ bei 20 °C		in 1/K
ϑ_b	Siedetemperatur in °C		Δh_v Spezifische Verdampfungsenthalpie in kJ/kg (auch Verdampfungswärme r)
ϑ_m	Schmelztemperatur (Erstarrungstemperatur) in °C		p_D Dampfdruck bei 25 °C in hPa
c_p	Spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck und 25 °C in kJ/(kg · K)	η	Dynamische Viskosität bei 20 °C in mPa · s

Lösemittel	Formel	M	ϱ	ϑ_b	ϑ_m	c_p	γ	Δh_v	p_D	η
Aceton, Propanon, Dimethylketon	<chem>C3H6O</chem>	58,08	790,5	56,2	-94,8	2,16	$14,3 \cdot 10^{-4}$	523	310	0,32
Acetonitril, Ethanitrit	<chem>C2H3N</chem>	41,05	779,3 ²⁵	81,6	-43,9	2,23	$13,8 \cdot 10^{-4}$	797	118	0,26
Ameisensäure, Methansäure	<chem>CH2O2</chem>	46,03	1222,4 ¹⁸	100,7	8,4	2,17	$10,2 \cdot 10^{-4}$	494	58	1,78
Anilin, Aminobenzol, Phenylamin	<chem>C6H7N</chem>	93,13	1021,7	184,4	-6,0	2,05	$8,4 \cdot 10^{-4}$	484	0,8	4,4
Benzol, Benzen	<chem>C6H6</chem>	78,11	878,9	80,1	5,5	1,74	$10,6 \cdot 10^{-4}$	394	127	0,64
Bromoform, Tribrommethan	<chem>CHBr3</chem>	252,73	2876,1 ²⁵	149,1	8,2	0,52	$9,1 \cdot 10^{-4}$	—	7,3	2,1
1-Butanol	<chem>C4H10O</chem>	74,12	809,6	117,8	-89,8	2,39	$12,1 \cdot 10^{-4}$	594	8,6	2,95
n-Butylacetat, Essigsäure-n-butylester	<chem>C6H12O2</chem>	116,16	876,1 ²⁵	126,5	-73,5	1,96	$11,9 \cdot 10^{-4}$	313	17	0,73
Chlorbenzol, Phenylchlorid	<chem>C6H5Cl</chem>	112,56	1106,2	131,7	-45,2	1,33	$9,8 \cdot 10^{-4}$	324	16	0,80
Chloroform, Trichlormethan	<chem>CHCl3</chem>	119,38	1489,0	61,2	-63,5	0,96	$12,8 \cdot 10^{-4}$	249	260	0,56
Cyclohexan	<chem>C6H12</chem>	84,16	778,3	80,8	6,6	1,84	$12,0 \cdot 10^{-4}$	358	130	0,98
Cyclohexanol	<chem>C6H12O</chem>	100,6	960,4 ²⁵	161,0	25,2	2,08	$9,6 \cdot 10^{-4}$	454	1,0	68
Cyclohexanon	<chem>C6H10O</chem>	98,15	942,5 ²⁵	155,6	-31,2	1,86	$19,1 \cdot 10^{-4}$	384	5,3	2,2
Decahydronaphthalin, Decalin	<chem>C10H18</chem>	138,25	886	190	-40	—	—	—	100 ⁵⁰	—
1,2-Dichlorbenzol, o-Dichlorbenzol	<chem>C6H4Cl2</chem>	147,0	1298,8 ²⁵	179,2	-17,1	1,16	$8,8 \cdot 10^{-4}$	276	1,8	1,42
1,2-Dichlorethan	<chem>C2H4Cl2</chem>	98,96	1252,9	83,6	-35,5	1,30	$11,7 \cdot 10^{-4}$	323	106	0,84
Dichlormethan, Methylchlorid	<chem>CH2Cl2</chem>	84,93	1325,5	40,21	-96,7	1,19	$13,7 \cdot 10^{-4}$	330	580	0,44
Diethylamin	<chem>C4H11N</chem>	73,14	701,7 ²⁵	55,4	-50,1	2,17	$15,8 \cdot 10^{-4}$	380	320	0,31
Diethylether, Ethylether, Ethoxyethan	<chem>C4H10O</chem>	74,12	719,3	34,5	-116,3	2,37	$16,2 \cdot 10^{-4}$	360	710	0,24
n-Dimethylformamid	<chem>C3H7NO</chem>	73,09	949	153	-60	2,06	—	570	5,3	0,8
Dimethylsulfat	<chem>C2H6O4S</chem>	126,13	1330	188	-32	—	—	—	1,06 ²⁰	—
1,4-Dioxan	<chem>C4H8O2</chem>	88,11	1034	101	11,7	$1,73^{20}$	$10,94 \cdot 10^{-4}$	406	49	1,26
Essigsäure, Ethansäure	<chem>C2H4O2</chem>	60,05	1050	118	16,6	2,05	$10,7 \cdot 10^{-4}$	403	$15,3^{20}$	1,21
Essigsäureanhydrid	<chem>C4H6O3</chem>	102,09	1081	140	-73	1,83	$11,3 \cdot 10^{-4}$	385	4,9	0,91

Löslichkeitsprodukt

Bei gesättigten Lösungen schwerlöslicher Salze ist das Löslichkeitsprodukt als Produkt der vorhandenen Ionenkonzentrationen definiert. Das Löslichkeitsprodukt ist temperaturabhängig!

Für das Dissoziationsgleichgewicht



beträgt das Löslichkeitsprodukt

$$L = c^m (A^+) \cdot c^n (B^-) = K_D \cdot c (A_m B_n)$$

Z. B. für $Mg(OH)_2 \rightleftharpoons Mg^{2+} + 2 OH^-$

$$L = c(Mg^{2+}) \cdot c^2(OH^-) = 5,6 \cdot 10^{-12} \text{ (mol/L)}^3$$

bei 25 °C

L	Löslichkeitsprodukt in $(\text{mol/L})^{m+n}$. m und n entsprechen der Anzahl der je Molekül gebildeten Kationen und Anionen.
$c(A^+)$	Stoffmengenkonzentration des Kations A^+ in mol/L
$c(B^-)$	Stoffmengenkonzentration des Anions B^- in mol/L
$c(A_m B_n)$	Stoffmengenkonzentration des schwerlöslichen Salzes in mol/L

$$K_D \text{ Dissoziationskonstante in } (\text{mol/L})^{m+n-1}$$

3

Löslichkeitsprodukte einiger anorganischer Verbindungen bei 25 °C (die Literaturangaben schwanken z. T. erheblich, die in Klammern angegebenen Werte sind abweichende Werte)

Verbin-dung	L (mol/L) $^{m+n}$	Verbin-dung	L (mol/L) $^{m+n}$	Verbin-dung	L (mol/L) $^{m+n}$
AgBr	$6,3 \cdot 10^{-13}$ (5,4 · 10^{-13})	CuBr 20 °C	$6,3 \cdot 10^{-9}$ $4,2 \cdot 10^{-8}$	MnS 18 °C	$4,7 \cdot 10^{-14}$ $5,6 \cdot 10^{-16}$
AgBrO ₃	$5,8 \cdot 10^{-5}$	CuCl 20 °C	$1,7 \cdot 10^{-7}$ $1 \cdot 10^{-6}$	NiCO ₃ Ni(OH) ₂ NiS 20 °C	$1,4 \cdot 10^{-7}$ $1,6 \cdot 10^{-14}$ (5,5 · 10^{-16}) $1,1 \cdot 10^{-21}$ $1 \cdot 10^{-26}$
AgCN	$7 \cdot 10^{-15}$ (6 · 10^{-17})	CuSCN 18 °C	$1 \cdot 10^{-14}$ $1,6 \cdot 10^{-11}$		
Ag ₂ CO ₃	$6,2 \cdot 10^{-12}$ (8,5 · 10^{-12})	CuCO ₃ Cu(OH) ₂ Cu ₂ S CuS 18 °C	$1,4 \cdot 10^{-10}$ $5,6 \cdot 10^{-20}$ $2,3 \cdot 10^{-48}$ $4 \cdot 10^{-38}$ (6 · 10^{-36}) $8 \cdot 10^{-45}$	PbCO ₃ Pb ₂ O ₄ PbS 18 °C 18 °C 18 °C	$1,5 \cdot 10^{-13}$ (6 · 10^{-14}) $8,5 \cdot 10^{-10}$ $2,7 \cdot 10^{-11}$ $3,3 \cdot 10^{-14}$ $1,8 \cdot 10^{-14}$
AgCl	$1,6 \cdot 10^{-10}$	FeCO ₃ FeC ₂ O ₄ Fe(OH) ₂ Fe(OH) ₃ 18 °C	$2,1 \cdot 10^{-7}$ $8 \cdot 10^{-16}$ (4,9 · 10^{-17}) $4 \cdot 10^{-40}$ (2,6 · 10^{-39})	PbCl ₂ PbCrO ₄ PbS 18 °C 18 °C	$2 \cdot 10^{-5}$ $3 \cdot 10^{-13}$ $9 \cdot 10^{-29}$ $3,4 \cdot 10^{-28}$
Ag ₂ CrO ₄	$4 \cdot 10^{-12}$ (1,1 · 10^{-12})	FeS 18 °C	$5 \cdot 10^{-18}$ (1,6 · 10^{-19}) $3,7 \cdot 10^{-19}$	PbSO ₄	$2 \cdot 10^{-8}$
AgI	$1,5 \cdot 10^{-16}$ (8,5 · 10^{-17})	Hg ₂ Br ₂ Hg ₂ Cl ₂ Hg ₂ (CN) ₂ Hg ₂ CO ₃ Hg ₂ I ₂ HgO Hg ₂ S HgS (Rot)	$6,4 \cdot 10^{-23}$ (1,3 · 10^{-21}) $2 \cdot 10^{-18}$ $5 \cdot 10^{-40}$ $3,7 \cdot 10^{-17}$ (9 · 10^{-17}) $5 \cdot 10^{-29}$ $1,7 \cdot 10^{-26}$ $1 \cdot 10^{-47}$ $4 \cdot 10^{-53}$	SrCO ₃ SrCrO ₄ 18 °C SrF ₂ 18 °C Sr(OH) ₂ SrSO ₄ Sr(OH) ₂ SrSO ₄	$1,6 \cdot 10^{-9}$ (5,6 · 10^{-10}) $3,6 \cdot 10^{-5}$ $4,3 \cdot 10^{-9}$ $2,8 \cdot 10^{-9}$ $3 \cdot 10^{-4}$ $3 \cdot 10^{-7}$
AgIO ₃	$3,2 \cdot 10^{-8}$				
Ag ₂ S	$1,6 \cdot 10^{-49}$ (5,7 · 10^{-51})				
AgSCN	$1,2 \cdot 10^{-12}$				
Ag ₂ SO ₄	$7,7 \cdot 10^{-5}$ (1,2 · 10^{-5})				
Al(OH) ₃ – frisch gefällt	$6 \cdot 10^{-12}$ $1 \cdot 10^{-33}$				
As ₂ S ₃ 18 °C	$4 \cdot 10^{-29}$				
BaCO ₃	$8 \cdot 10^{-9}$ (2,6 · 10^{-9})				
BaCrO ₄	$1,6 \cdot 10^{-10}$				
BaSO ₄	$1,1 \cdot 10^{-10}$				
B ₂ S ₃ 18 °C	$(1,8 \cdot 10^{-99})$ $1,6 \cdot 10^{-72}$				
CaCO ₃	$5 \cdot 10^{-9}$				
Ca ₂ O ₄	$2,3 \cdot 10^{-9}$				
CaF ₂ 18 °C	$(1,5 \cdot 10^{-10})$ $3,4 \cdot 10^{-11}$				
Ca(OH) ₂	$4,7 \cdot 10^{-6}$ (4,3 · 10^{-2})				
Ca ₃ (PO ₄) ₂	$1 \cdot 10^{-25}$ (2,1 · 10^{-33})				
CaSO ₄	$6,3 \cdot 10^{-5}$ (7,1 · 10^{-5})				
CdCO ₃ CdS 18 °C	$2,5 \cdot 10^{-14}$ (6,2 · 10^{-12}) $1,4 \cdot 10^{-29}$	MgCO ₃ MgNH ₄ PO ₄ Mg(OH) ₂	$6,8 \cdot 10^{-6}$ (1 · 10^{-5}) $2,5 \cdot 10^{-13}$ $5,6 \cdot 10^{-12}$	ZnCO ₃ ZnC ₂ O ₄ 18 °C Zn(OH) ₂ ZnS (α) ZnS (β)	$6 \cdot 10^{-11}$ (1,2 · 10^{-10}) $7,5 \cdot 10^{-9}$ $1,4 \cdot 10^{-9}$ $4 \cdot 10^{-17}$ $7 \cdot 10^{-26}$ $1 \cdot 10^{-24}$
CoCO ₃	$1 \cdot 10^{-12}$				
Co(OH) ₂	$2 \cdot 10^{-16}$ (6 · 10^{-15})	MnCO ₃ Mn(OH) ₂	$1 \cdot 10^{-10}$ (2,2 · 10^{-11}) $2,1 \cdot 10^{-13}$		
Cr(OH) ₃	$6,7 \cdot 10^{-31}$				

Volumetrie (Maßanalyse)

Grundformeln (vgl. auch S. 56):

$$m(X) = \frac{M(X) \cdot c(Y) \cdot z^*(Y) \cdot V \cdot t \cdot f_A}{z^*(X)}$$

$$w(X) = \frac{M(X) \cdot c(Y) \cdot z^*(Y) \cdot V \cdot t \cdot f_A}{z^*(X) \cdot m}$$

Die Äquivalentzahlen z^* entsprechen den

- **Ladungszahlen** z (bei Ionenäquivalenten)
- **Protonenübergängen** (bei Neutralisationsäquivalenten)
- **Änderungen der Oxidationszahlen** (bei Redoxäquivalenten)

Mit volumetrischem Faktor gilt:

$$m(X) = F \cdot V \cdot t \cdot f_A$$

$$w(X) = \frac{F \cdot V \cdot t \cdot f_A}{m}$$

$m(X)$ Masse des zu bestimmenden Stoffes X in der Probelösung (Titrand) in g

$M(X)$ Molare Masse des zu bestimmenden Stoffes X in g/mol

$c(Y)$ (Angenäherte) Stoffmengenkonzentration der Maßlösung in mol/L ($\tilde{c}(Y)$ für angenäherte)

$z^*(Y)$ Äquivalenzzahl des Titrators Y in der Maßlösung (ohne Einheit)

$z^*(X)$ Äquivalenzzahl des zu bestimmenden Stoffes X (ohne Einheit)

V Verbrauch an Maßlösung in L

t Titer der Maßlösung (ohne Einheit)

f_A Aliquotierfaktor (Verdünnungsfaktor)

$w(X)$ Massenanteil des zu bestimmenden Stoffes X (ohne Einheit)

m Masse der Probelösung in g

F Volumetrischer Faktor (nach Tabelle, folgende Seite) bzw. maßanalytisches Äquivalent; gibt die Masse in g an, die dem Volumen von 1 L Maßlösung entspricht (Stoffmengenkonzentration der Maßlösung beachten!).

3

Beispiele für Äquivalentzahlen

Neutralisationsäquivalente		Redoxäquivalente		
Teilchen X	$z^*(X)$	Teilchen X		$z^*(X)$
HCl → H ⁺	1	KMnO ₄ → Mn ²⁺		5
H ₂ SO ₄ → 2H ⁺	2	KMnO ₄ → MnO ₂		3
C ₂ H ₂ O ₄ → 2 H ⁺	2	K ₂ Cr ₂ O ₇ → 2 Cr ³⁺		6
H ₃ PO ₄ → 3 H ⁺	3	KBrO ₃ → Br ⁻		6
NaOH → OH ⁻	1	Na ₂ S ₂ O ₃ → ½ S ₄ O ₆ ²⁻		1
KOH → OH ⁻	1	Ce(SO ₄) ₂ → Ce ³⁺		1
Ca(OH) ₂ → 2 OH ⁻	2	As ₂ O ₃ → 2 AsO ₄ ³⁻		4

B 6,24 g einer Natronlauge werden auf 250 mL verdünnt und 25 mL von der entstandenen Lösung mit Schwefelsäure, $\tilde{c}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,1 \text{ mol/L}$, $t = 0,980$, titriert. Verbrauch: $V = 31,75 \text{ mL}$. Gesucht ist der Massenanteil $w(\text{NaOH})$.

$$\begin{aligned} w(\text{NaOH}) &= \frac{M(\text{NaOH}) \cdot \tilde{c}(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot z^*(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V \cdot t \cdot f_A}{z^*(\text{NaOH}) \cdot m(\text{Lauge})} \\ &= \frac{39,9971 \text{ g/mol} \cdot 0,1 \text{ mol/L} \cdot 2 \cdot 0,03175 \text{ L} \cdot 0,98 \cdot 10}{1 \cdot 6,24 \text{ g}} \end{aligned}$$

$$w(\text{NaOH}) = 0,3989 \text{ bzw. } 39,89 \%$$

oder

$$w(\text{NaOH}) = \frac{F(\text{NaOH} / \text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V \cdot t \cdot f_A}{m(\text{Lauge})} = \frac{7,9994 \cdot 0,03175 \cdot 0,980 \cdot 10}{6,24} = 0,3989 \text{ bzw. } 39,89 \%$$

B 2,8 g einer Probe wurden zur Bestimmung des Massenanteils $w(\text{H}_2\text{O}_2)$ mit einer KMnO₄-Lösung, $c(\text{KMnO}_4) = 0,02 \text{ mol/L}$, $t = 1,000$, titriert. $V = 36,18 \text{ mL}$.

$$w(\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{1,7007 \cdot 0,03618 \cdot 1,000}{2,8} = 0,022 \text{ bzw. } 2,2 \%$$

Stoffdaten ausgewählter chemischer Verbindungen (Fortsetzung)

Stoff	Formel	M kg/kmol	ϑ_b °C	ϑ_m °C	ρ kg/m³	p_0 hPa	n	Δh_v kJ/kg	η mPa · s
Dichlordiphenylsilan, Diphenyldichlorsilan	C ₁₂ H ₁₀ Cl ₂ Si	253,21	302 ... 305	- 22	1222 20 °C	1 110 °C	1,5819 20 °C		
5,5-Diethylbarbitursäure	C ₈ H ₁₂ N ₂ O ₃	184,20	s	190	1220				
Diethylether, Ether, Ethylether	C ₄ H ₁₀ O	74,12	34,5	- 116,4	714	587 20 °C	1,3526 20 °C	360	0,23 20 °C
Diethylphosphit, Phos- phorigsäurediethylester	C ₄ H ₁₁ O ₃ P	138,10	187		1070	1 20 °C			
Difluorchloromethan, Chlordinfluormethan	CHClF ₂	86,47	- 40,8	- 146	1414 fl.	9169 20 °C		235	0,206 20 °C
Difluordichlormethan, Dichlordinfluormethan	CCl ₂ F ₂	120,91	- 29,8	- 158	1486 20 °C	5700 20 °C		166	0,23 20 °C
Diisopropylether, Isopropylether	C ₆ H ₁₄ O	102,18	68	- 85,9	724 20 °C	180 20 °C	1,3679 20 °C	285	0,37
Diketen	C ₄ H ₄ O ₂	84,08	126,1	- 7	1095 20 °C	9,3 20 °C			438
Dimethylamin, Methylmethanamin	C ₂ H ₇ N	45,08	7,4	- 93	680,4 0 °C	800 20 °C	1,350 17 °C	588	0,20 20 °C
Dimethylether, Methylether, Methoxymethan	C ₂ H ₆ O	46,07	- 25	- 138,5	735 fl.	5040 20 °C		467	
N,N-Dimethylformamid	C ₃ H ₇ NO	73,10	153	- 60,5	949 20 °C	4 20 °C	1,4305 20 °C		0,8 20 °C
2,6-Dimethylphenol, 2,6-Xylenol	C ₈ H ₁₀ O	122,17	203	49	990	1,3 91,2 °C			
Dimethylphosphit	C ₂ H ₇ O ₃ P	110,05	150 ... 160		1190	1,5 20 °C	1,4030 20 °C		
2,2-Dimethyl-1,3-Pro- pandiol, Neopentylglycol	C ₅ H ₁₂ O ₂	104,15	206 996 hPa	130					
2,2-Dimethyl-1- propanol	C ₅ H ₁₂ O	88,15	113,0	50 ... 53	812 20 °C	21,3 20 °C			7,6 20 °C
Dimethylsulfat, Methylsulfat	C ₆ H ₆ O ₄ S	126,13	188,5	- 31,7	1328 20 °C	1,06 20 °C	1,3874 20 °C		
Dimethylsulfoxid, Methylsulfoxid	C ₆ H ₆ OS	78,13	189	18,4	1101 20 °C	0,6 20 °C	1,4770 20 °C		1,98
Dimethylterephthalat	C ₁₀ H ₁₀ O ₄	194,19	288	141	1350 20 °C	< 0,13 30 °C			
Dinatriumhydrogen- phosphat	Na ₂ HPO ₄	141,96		240 d					
1,2-Dinitrobenzol	C ₆ H ₄ N ₂ O ₄	168,11	319	118,5	1565 17 °C	< 1 20 °C			
1,3-Dinitrobenzol	C ₆ H ₄ N ₂ O ₄	168,11	291	90	1575 18 °C	< 1 20 °C			
1,4-Dinitrobenzol	C ₆ H ₄ N ₂ O ₄	168,11	298	174	1625 18 °C	< 1 20 °C			
2,4-Dinitrotoluol	C ₇ H ₆ N ₂ O ₄	182,14	300 d	71	1518 15 °C	1,3 20 °C	1,442		
Dioxan, 1,4-Dioxan, Diethylendioxid	C ₄ H ₈ O ₂	88,11	101,3	11,8	1034 20 °C	41 20 °C	1,4224 20 °C	405	1,26 20 °C
Dioxin, 1,4-Dioxin	C ₄ H ₄ O ₂	84,08	74,6		1115 20 °C		1,4350		
1,3-Dioxolan, 1,3-Dioxa- cyclopantan	C ₃ H ₆ O ₃	74,08	78		1060 20 °C	133 20 °C	1,401 20 °C		

Gefährdungsbeurteilung und Ausfallrisiko an einer Anlage (Fortsetzung)

Ausfallrisiko einer Anlage bzw. der Produktion – Abschätzung durch einen Risikograph

Beispiel bezüglich eines Dampferzeugers:

Im Dampferzeuger zur Beheizung des Sumpfes einer Rektifikationskolonne bilden sich Ablagerungen an der Behälterwand und am Rohrbündel (Kesselsteinschicht). Gefahr: Wandüberhitzung bei Abplatzungen aus der Schicht, verstärkte Korrosion und höhere Energiekosten. Mögliche Folge: Ausfall des Verdampfers und damit Ausfall der Rektifikationsanlage. → **S2**

Diese Kesselsteinschicht wächst dauerhaft und somit besteht permanent die Gefahr von Abplatzungen und fortschreitender Korrosion. → **F2**

Der Schichtbildung kann entgegengewirkt werden, indem das Kesselspeisewasser vorbehandelt wird (Wasserenthärtung z. B. in Ionenaustauschern) oder durch Zusätze der Kesselsteinbildung im Betrieb entgegengewirkt wird (z. B. durch Ansäuerung, Kesselsteininhibitoren oder Dispersionsmittel). Evtl. kann in einer Wartungsphase die möglicherweise bereits vorhandene Schicht beseitigt werden. → **P1**

Somit ergibt sich ein Performance Level **d** (siehe Bild unten links).

Risiko für eine Personengefährdung

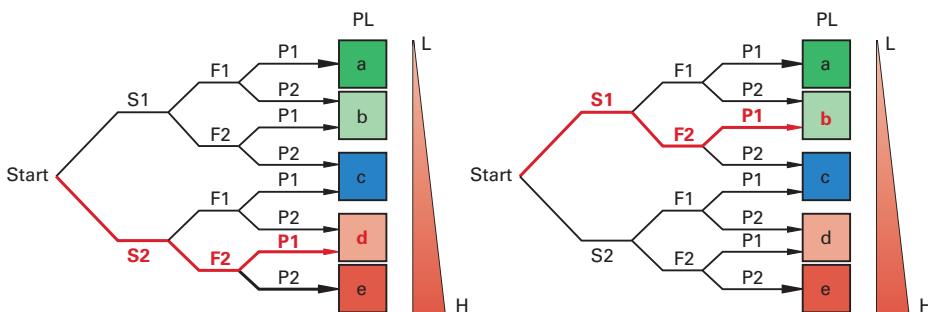
Ein druckloser (offener) Maischebehälter muss während des Kochens laufend gerührt werden, damit die Maische nicht überschäumt. Schaumtemperatur: ca. 90 °C. Mögliches Szenario: Der Rührer fällt aus.

Hierdurch kann es bei Überschäumen zu Verbrühungen beim Bedienungspersonal kommen (bei dieser Betriebstemperatur und bei dem Medium sind aber keine dauerhaften gesundheitlichen oder Umweltschäden zu erwarten) → **S1**

Annahme: Der Ausfall des Rührers ist bei der installierten Technik jederzeit durch Stromausfall möglich und die Gefährdung besteht somit dauerhaft → **F2**

Die Gefährdung kann durch verschiedene Maßnahmen (Schutzscheiben, Notstromaggregat usw.) minimiert werden → **P1**

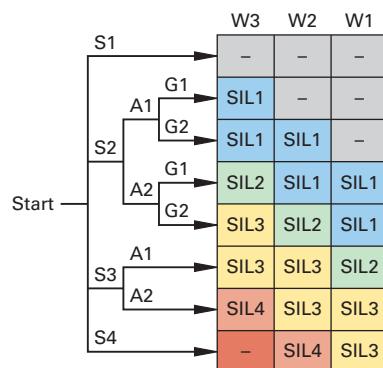
Somit ergibt sich ein Performance Lever **b** (siehe Bild unten rechts).



SIL – Safety Integrity Level/Sicherheits-Integritätslevel (Anlagensicherheit)

Eine weitere Möglichkeit, Gefährdungen, die von einer Anlage ausgehen, durch Sicherheitseinrichtungen auf ein möglichst geringes Maß zu reduzieren, ist ein Risikograph (DIN EN ISO 13849) zur Bewertung des SIL nach DIN EN 61508. SIL 4 verlangt die stärksten Sicherheitsmaßnahmen.

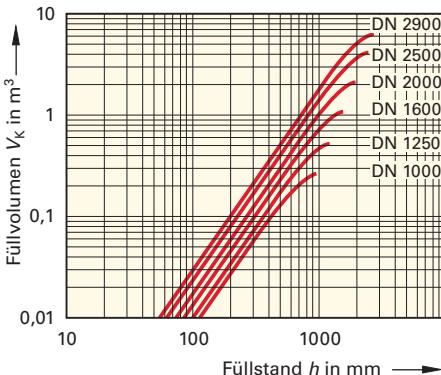
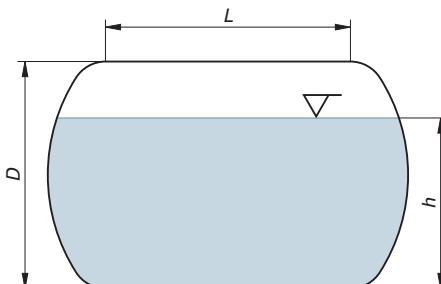
- S1 Schadensausmaß/Verletzung leichte, reversibel
- S2 Schadensausmaß/Verletzung ernst, irreversibel, Tod
- S3 Tod mehrerer Personen
- S4 katastrophale Auswirkung mit vielen Toten
- A1 seltene oder kurze Gefährdungsexposition
- A2 häufige Gefährdungsexposition (mehrfaç pro Stunde/Schicht)
- G1 Vermeidung/Schadensbegrenzung möglich
- G2 Vermeidung/Schadensbegrenzung kaum möglich
- W1 Eintrittswahrscheinlichkeit sehr gering
- W2 Eintrittswahrscheinlichkeit gering
- W3 Eintrittswahrscheinlichkeit hoch



Füllvolumen von Lagerbehältern (Fortsetzung)

Ungefähres Füllvolumen teilgefüllter liegender zylindrischer Behälter (beidseitig Korbogenböden) (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	0,00214	0,00277	0,00375	0,00501	0,00690	0,00870
100	0,00773	0,00998	0,01322	0,01706	0,02214	0,02648
150	0,01630	0,02113	0,02808	0,03623	0,04670	0,05534
200	0,02750	0,03580	0,04774	0,06177	0,07976	0,09444
250	0,04101	0,05368	0,07185	0,09320	0,12061	0,14300
300	0,05652	0,07446	0,10012	0,13020	0,16881	0,20039
350	0,07364	0,09782	0,13223	0,17247	0,22405	0,26625
400	0,09201	0,12338	0,16787	0,21970	0,28603	0,34025
450	0,11123	0,15079	0,20668	0,27158	0,35445	0,42211
500	0,13086	0,17968	0,24831	0,32779	0,42899	0,51152
550	0,15049	0,20961	0,29239	0,38797	0,50936	0,60818
600	0,16970	0,24016	0,33858	0,45176	0,59521	0,71178
650	0,18808	0,27093	0,38643	0,51880	0,68620	0,82200
700	0,20520	0,30149	0,43554	0,58872	0,78200	0,93850
750	0,22070	0,33142	0,48549	0,66119	0,88221	1,06094
800	0,23422	0,36030	0,53586	0,73574	0,98648	1,18897
850	0,24542	0,38771	0,58623	0,81196	1,09443	1,32223
900	0,25398	0,41328	0,63618	0,88944	1,20577	1,46035
950	0,25958	0,43663	0,68528	0,96776	1,32005	1,60294
1000		0,45742	0,73314	1,04651	1,43684	1,74963
1100		0,48996	0,82340	1,20358	1,67627	2,05412
1200		0,50832	0,90384	1,35728	1,92075	2,37029
1300			0,97160	1,50430	2,16691	2,69484
1400				1,02398	1,64126	2,41138
1500					1,05850	1,76523
1600						1,87332
1700						1,96282
1800						2,03124
1900						2,07596
2000						3,65866
2100						3,80162
2200						3,91884
2300						4,00789
2400						4,06551
2500						6,03991
2600						6,17978
2700						6,28572
2800						6,35368



Die Tabelle und das Diagramm geben nur den Volumeninhalt V_K in den Korbogenböden 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 Korbogenböden ($D = 1250 \text{ mm}$, $L = 0,9 \text{ m}$) die Flüssigkeit 65 cm hoch steht.

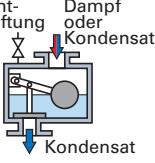
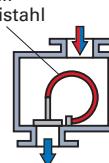
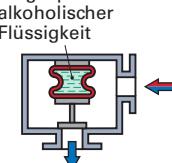
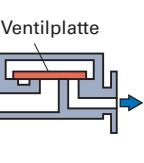
$$V = 0,27093 \text{ m}^3 + \left[\frac{(1,25 \text{ m})^2}{4} \cdot \arccos \left(1 - \frac{2 \cdot 0,65 \text{ m}}{1,25 \text{ m}} \right) - \sqrt{0,65 \text{ m} \cdot 1,25 \text{ m} - (0,65 \text{ m})^2} \cdot \left(\frac{1,25 \text{ m}}{2} - 0,65 \text{ m} \right) \right] \cdot 0,9 \text{ m} = 0,85 \text{ m}^3$$

Kondensatableiter allgemein

DIN-Normen

- DIN EN 558: Industriearmaturen – Baulängen von Armaturen aus Metall zum Einbau in Rohrleitungen mit Flanschen – nach PN und Class bezeichnete Armaturen
DIN EN 26 704: Kondensatableiter; Klassifikation
DIN EN 26 948: Kondensatableiter; Fertigungsprüfung und Prüfung der Funktionsmerkmale
DIN EN 27 841: Kondensatableiter; Bestimmung des Dampfverlustes; Prüfverfahren
DIN EN 27 842: Kondensatableiter; Bestimmung des Durchflusses; Prüfverfahren
DIN 3548-1 (z): Kondensatableiter mit Flanschanschluss
DIN ISO 6553: Kondensatableiter; Kennzeichnung

Aufgabe: Ausschleusung von Kondensat aus Rohrleitungssystemen (z. B. Dampfleitungen) und Wärmeaustauschern (im weiteren Sinne) ohne dass nennenswerte Mengen an Frischdampf verloren gehen.

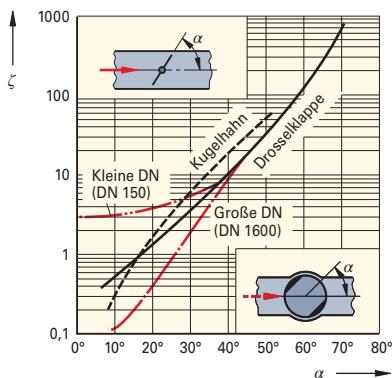
Ableitertyp	Schwimmer-Kondensatableiter	Bimetall-(bzw. Bistahl-)Kondensatableiter	Kapsel-(bzw. Balgkapsel-)Kondensatableiter	Thermodynamischer Kondensatableiter
Steuerung	Mechanisch	Thermisch	Thermisch	Thermodynamisch
Prinzipbild				
Funktion	Steuerung des Auslassventils oder Drehschiebers durch den Flüssigkeitsstand im Kondensatableiter (über einen Schwimmkörper). Das Abschlussorgan öffnet sofort bei Kondensatzlauf.	Steuerung des Auslassventils durch Temperaturänderung, welche die Krümmung eines Bimetalls oder Bistahls (Duostahls) verändert. Dampf schließt das Ventil, Kondensat bestimmter Temperatur öffnet es.	Steuerung des Auslassventils durch Temperaturänderung, die Verdampfung und Kondensation der alkoholischen Balgflüssigkeit und damit Streckung und Stauchung des Balgs bewirkt.	Steuerung aufgrund unterschiedlicher Strömungsgeschwindigkeit von Dampf und Kondensat. Schnell strömender Dampf führt zur Schließung infolge Druckabbau unter (Düseneffekt) und Druckaufbau über der Ventilplatte (Entspannungsnachverdampfung und Umwandlung von Bewegungsenergie).
Einsatzbeispiele	Bei Aufheizvorgängen (z. B. Reaktionsbehälter mit Heizmantel) – Sattdampfleitungen – bei „kalten Kondensaten“ und Kondensaten der chemischen Produktion – bei Heißdampf-Leitungen – bei großem Gegendruck (bis 100 %) – bei starken Druck-, Temperatur- und Mengenschwankungen – bei temperaturgeregelten Anlagen.	Begleitheizungen (oft mit Kondensatunterkühlung) – wenn Kondensatrückstau zur besseren Wärmeausnutzung gefordert ist – wenn Heizen und Kühlen im Wechsel stattfindet – Entlüftung von Dampfräumen – mantelbeheizte Destillierblasen – senkrechte Heizschlangen – bei geforderten kleinen Bauvolumen.	Begleitheizungen – Heizschlangen – bei Aufheizvorgängen – bei großem Gegendruck (bis 100 %) – als Entlüfter von Dampfräumen – Pressen – Verdampfer – wenn die Unterkühlung unabhängig vom Gegendruck konstant sein soll – stehende Rohrbündelwärmeaustauscher mit gewünschtem Kondensatstau.	Bei starken Erschütterungen und Vibratiorien – Dampftrockner – kleine Heizbäder – bei kleinen Kondensatmengen (Kleinwärmeaustauscher) – Heizschlangen – Pressen – bei sehr beengten Platzverhältnissen – Dampfleitungen.
Nicht empfohlen	Bei starken Wasserschlägen, Einfriergefahr und gefordertem Kondensatstau.	Bei Aufheizvorgängen, stoßweise Kondensatanfall, geregelten Anlagen und Kondensatstauverbot.	Bei überhitztem Dampf (je nach Balgfüllung) und Wasserschlägen.	Bei überhitztem Dampf, wenn längere Zeit kein Kondensatanfall und Arbeitsgeräusche unzulässig.

Druckverlustzahlen von Armaturen

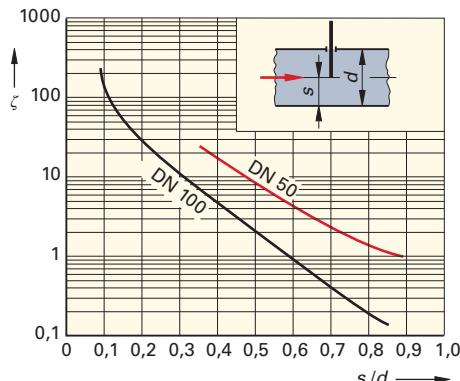
Absperr- und Drosselarmaturen

Armatur	ζ -Wert	Armatur	ζ -Wert
DIN-Ventile	4,0 bis 5,0	Durchgangshähne mit Küken	0,6 bis 2,0
Durchgangsventile (allgemein)	2,5 bis 6,5	Kugelhähne	0,03 bis 0,9
Kolbenventile	4,0 bis 6,5	– mit eingezogenem Durchgang	0,3 bis 3,5
Eckventile	1,3 bis 6,6	Schieber	0,05 bis 0,3
Schrägsitzventile	1,5 bis 3,5	– mit eingezogenem Durchgang	0,2 bis 4,5
Membranventile	0,8 bis 2,2	Blendenregulierschieber	$\approx 0,4$
Fußventile mit Saugkorb	2,2 bis 4,6	Klappen	0,05 bis 0,9
Ringkolbenventile	1,8 bis 13,0	Rückschlagklappen	0,5 bis 1,4
Rückschlagventile	1,5 bis 15		

Kugelhähne und Drosselklappen bei verschiedenen Öffnungswinkeln



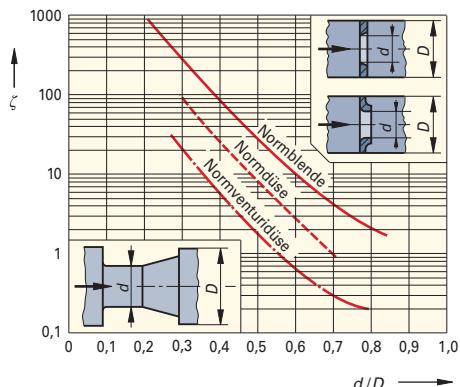
Schieber bei verschiedenen Stellwegen



Volumen- und Durchflussmessgeräte

Messgerät	ζ -Wert
Ovalradzähler	1,5 bis 9, bei Nennweiten kleiner DN 50 auch höher
Turbinenradzähler	0,8 bis 2
Ringkolbenzähler	3 bis 15
Draildurchflussmesser	12 bis 16
Wirbelzähler	2 bis 3
Magnetisch-induktive Durchflussmesser	wie Rohrstück gleicher Länge

Normblenden, Normdüsen und Normventuridüsen



Schwebekörperdurchflussmesser

$$\zeta = \frac{5 \cdot m_s \cdot d^4 \cdot \pi}{d_s^2 \cdot q_v^2 \cdot \varrho}$$

m_s Masse des Schwebekörpers in kg
 d Innendurchmesser der Rohrleitung in m
 d_s Größter Durchmesser am Schwebekörper in m
 q_v Volumenstrom in m^3/s
 ϱ Dichte des Fördermediums in kg/m^3

Berechnung der erforderlichen Pumpenleistung (Antriebsleistung)

Berechnungsgang:

- ① Ermittlung der Verlusthöhe H_J der Anlage (Rohreibungs- und Druckverluste in Formstücken und Armaturen)
- ② Ermittlung der Förderhöhe H_A der Anlage (Summe aus geodätischer, Druck-, Verlust- und evtl. Geschwindigkeitshöhe)
- ③ Berechnung der Förderleistung P_u in Abhängigkeit vom Förderstrom Q , der Anlagenförderhöhe H_A und der Dichte ϱ des Fördermediums und

Berechnung der Pumpenleistung P aus der Förderleistung P_u mit Hilfe des Wirkungsgrades η

① Ermittlung der Verlusthöhe H_J

$$H_J = \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{\lambda \cdot L}{d_i} + \sum \zeta \right)$$

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

$$\lambda = \frac{0,309}{\left(\lg \frac{Re}{7} \right)^2}$$

$$Re = \frac{v \cdot d_i \cdot \varrho}{\eta}$$

$$H_J = \frac{\Delta p}{\varrho \cdot g}$$

Für laminare Strömung ($Re < 2320$) und glatte (neue) Rohre:

Näherungsweise (nach Eck) für turbulente Strömung ($Re > 2320$) und glatte (neue) Rohre.

Δp Druckverlust in der Leitung in Pa

H_J Verlusthöhe in m

v Strömungsgeschwindigkeit in m/s

g Fallbeschleunigung in m/s² ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$)

λ Rohrwiderstandszahl, Rohreibungsbeiwert (ohne Einheit)

L Länge der geraden Rohrleitung in m

d_i Innendurchmesser der Rohrleitung in m

ζ Druckverlustzahl für Formstücke und Armaturen

Re Reynoldszahl (ohne Einheit)

ϱ Dichte des Fördermediums in kg/m³

η Dynamische Viskosität des Fördermediums in Pa · s

Für rau und gebrauchte Stahlrohre wird λ nach Abschnitt „Druckverluste in Rohrleitungssystemen“ ermittelt.

Die Druckverlustzahlen ζ für die in der Anlage enthaltenen Formstücke und Armaturen sind den Abschnitten **Druckverlustzahlen von Formstücken** und **Druckverlustzahlen von Armaturen** zu entnehmen.

4

Ungefährre Druckverlustzahlen von Formstücken und Armaturen

Formstück	ζ	Armatur (voll geöffnet)	ζ	Armatur (voll geöffnet)	ζ
Bogen 90°, $r = d_i$, rau	0,51	Schweißnähte	0,03	Eckventil	1,3 ... 6,6 meist ca. 3,0
Bogen 90°, $r = 2 \cdot d_i$, rau	0,3	Ventil, gegossen	2,5 ... 6,5 meist ca. 4,0	Rückschlagklappe	0,3 ... 2,4
Bogen 45°, $r = d_i$, glatt	0,14	Ventil, geschmiedet	$\approx 6,0$	Absperrklappe	0,24 ... 0,6
Bogen 45°, $r = 2 \cdot d_i$, glatt	0,09	Ringkolbenventil	1,8 ... 13	Flachschieber	0,07 ... 0,65 meist ca. 0,18
Bogen 90°, glatt ($r = 2 \cdot \text{DN} \dots 5 \cdot \text{DN}$)	0,26	Schrägsitzventil	1,5 ... 3,5		
DN 50	0,21	Freiflussventil	0,6 ... 1,6	Ovalschieber	ca. 0,22
DN 200	0,18	Membranventil	0,8 ... 2,2	Kugelhahn	0,02 ... 0,15
DN 500		Rückschlagventil (Geradsitz)	3,0 ... 6,0	Dreiwege-Kükenhahn	2 ... 6
Kniestück 90 °	1,2 ... 1,3			Schmutzfänger/Filter	1 ... 10
45 °	0,35			Saugkorb	5 ... 6
T-Stück, 100 % Durchgang	0,4				
Abzweig (schräg)	1,0	Fußventil	0,4 ... 3,0		

Die Druckverlustzahlen variieren mit der Nennweite und mit der baulichen Ausführung der Formstücke und Armaturen. So wird die Druckverlustzahl für Rohrbögen mit zunehmender Nennweite niedriger. Für genaue Berechnungen müssen die Werte bei den Herstellern der Armaturen erfragt oder in Versuchen ermittelt werden.

Überschlägige Berechnung der erforderlichen Wärmeaustauschfläche (Forts.)

Wahl des K-Wertes (Näherungswert) (Fortsetzung)

Bauart des Wärmeaustauschers	Austauschbedingungen	K-Wert in W/(m ² · K) ¹⁾
Schlangenkühler	Flüssigkeit (in der Schlange) – Kühlwasser Kondensierender Dampf (in der Schlange) – Kühlwasser Gas (in der Schlange, $p_{abs} \approx 1$ bar) – Kühlwasser	200 ... 700 350 ... 900 20 ... 60
Rührkessel – mit Doppelmantel – mit innenliegender Rohrschlange	Kühlwasser oder Sole (außen) – Flüssigkeit Kondensierender Dampf (außen) – Flüssigkeit Kondensierender Dampf (außen) – Siedende Flüssigkeit Kühlwasser oder Sole (in der Schlange) – Flüssigkeit Kühlwasser oder Sole (in der Schlange) – Siedende Flüssigkeit	150 ... 350 500 ... 1500 700 ... 1700 700 ... 2500 1200 ... 3500

¹⁾ Werte in Klammer: bei besonderer Konstruktion erreichbar

B Erforderliche Heizmittelmenge

Erforderliche Kühlmittelmenge

Ohne Änderung des Aggregatzustandes:

$$q_{m1} = \frac{q_{m2} \cdot c_{p2} \cdot (\vartheta_{22} - \vartheta_{21})}{c_{p1} \cdot (\vartheta_{11} - \vartheta_{12})}$$

$$q_{m2} = \frac{q_{m1} \cdot c_{p1} \cdot (\vartheta_{11} - \vartheta_{12})}{c_{p2} \cdot (\vartheta_{22} - \vartheta_{21})}$$

Kondensierender Sattdampf gegen Flüssigkeit:

$$q_{m1} = \frac{q_{m2} \cdot c_{p2} \cdot (\vartheta_{22} - \vartheta_{21})}{\Delta h_{v1}}$$

$$q_{m2} = \frac{q_{m1} \cdot \Delta h_{v1}}{c_{p2} \cdot (\vartheta_{22} - \vartheta_{21})}$$

Bei vorgegebenem Massenstrom an Heizmittel:

Heizmittel-Austrittstemperatur

Ohne Änderung des Aggregatzustandes:

$$\vartheta_{12} = \vartheta_{11} - \frac{q_{m2} \cdot c_{p2} \cdot (\vartheta_{22} - \vartheta_{21})}{q_{m1} \cdot c_{p1}}$$

$$\vartheta_{22} = \frac{q_{m1} \cdot c_{p1} \cdot (\vartheta_{11} - \vartheta_{12})}{q_{m2} \cdot c_{p2}} + \vartheta_{21}$$

q_m Massenstrom in kg/s

c_p Spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck in J/(kg · K)

Δh_v Verdampfungsenthalpie in J/kg

ϑ Temperatur in °C

Index 1: Medium 1 (Medium mit der höheren Temperatur)

Index 2: Medium 2 (Medium mit der niedrigeren Temperatur)

Index 11: Zustand von Medium 1 beim Eintritt in den Wärmeaustauscher

Index 12: Zustand von Medium 1 beim Austritt aus dem Wärmeaustauscher

Index 21: Zustand von Medium 2 beim Eintritt in den Wärmeaustauscher

Index 22: Zustand von Medium 2 beim Austritt aus dem Wärmeaustauscher

Trocknung im Luftstrom (Konvektionstrocknung) (Fortsetzung)

Die Größen des *h-x*-Diagrammes

x	Beladung (Feuchtebeladung, Feuchtegrad) in kg/kg (bzw. g/kg im <i>h-x</i> -Diagramm), entspricht dem Massenverhältnis ζ
φ	Relative Feuchte in hPa/hPa
ϑ	Temperatur der feuchten Luft in °C
h	Enthalpie von $(1 + x)$ kg feuchter Luft in kJ/kg (spezifische Enthalpie)
$\Delta h/\Delta x$	Enthalpieänderung für 1 kg aufgenommenen Wasserdampf in kJ/kg

Zusätzliche Formelzeichen:

m_W	Masse Wasserdampf in der Luft in kg bzw. g
m_{dL}	Masse trockene Luft in kg
p_W	Partialdruck des Wasserdampfes in der feuchten Luft in hPa
p_{satW}	Sättigungsdruck des Wasserdampfes in der feuchten Luft (bei Bezugstemperatur) in hPa
p	Gesamtdruck in hPa
M_W	Molare Masse des Wassers in g/mol
M_L	Molare Masse der trockenen Luft in g/mol

Es gelten die folgenden Beziehungen:

$$x = \frac{m_W}{m_{dL}}$$

bzw.

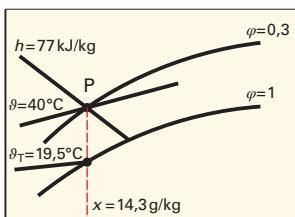
$$x = \frac{\varphi \cdot p_{satW} \cdot M_W}{(p - \varphi \cdot p_{satW}) \cdot M_L}$$

$$\varphi = \frac{p_W}{p_{satW}}$$

Beispiele für die Anwendung des *h-x*-Diagrammes

Zustand feuchter Luft und Taupunkttemperatur:

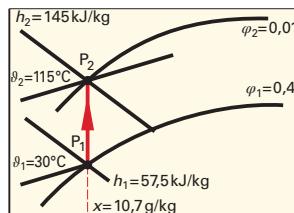
4



Luft von $\vartheta = 40^\circ\text{C}$ und einer relativen Feuchte von $\varphi = 0,3$ (bei $p_{abs} = 1$ bar) besitzt eine spezifische Enthalpie von $h = 77 \text{ kJ/kg}$ und eine Beladung von $x = 14,3 \text{ g/kg}$. Die Taupunkttemperatur: $\theta_T = 19,5^\circ\text{C}$.

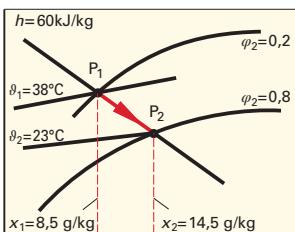
Zustandsänderung bei konstanter Beladung x

(Erwärmung der Luft ohne Trockengutkontakt):



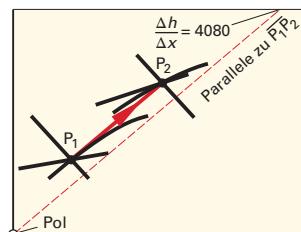
Luft von $\vartheta_1 = 30^\circ\text{C}$ und $\varphi_1 = 0,4$ (bei $p_{abs} = 1$ bar) besitzt eine spezifische Enthalpie von $h_1 = 57,5 \text{ kJ/kg}$. Diese steigt bei Erwärmung auf $\vartheta_2 = 115^\circ\text{C}$ und auf $h_2 = 145 \text{ kJ/kg}$. Die relative Feuchte beträgt nun $\varphi_2 = 0,01$.

Zustandsänderung bei konstanter spezifischer Enthalpie h (Feuchteaufnahme durch die Luft):



Erhöht sich bei feuchter Luft ($\vartheta_1 = 38^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 0,2$ und $h_1 = 60 \text{ kJ/kg}$) die Beladung bei konstanter Enthalpie von $x_1 = 8,5 \text{ g/kg}$ auf $x_2 = 14,5 \text{ g/kg}$, so sinkt die Temperatur auf $\vartheta_2 = 23^\circ\text{C}$ und die relative Feuchte steigt auf $\varphi_2 = 0,8$.

Zustandsänderung bei gleichzeitiger Änderung der Beladung x und der Enthalpie h :



Feuchte Luft ändert sich vom Zustand P_1 ($\vartheta_1 = 18^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 0,5$, $h_1 = 35 \text{ kJ/kg}$, $x_1 = 6,5 \text{ g/kg}$) auf P_2 ($\varphi_2 = 0,4$, $\vartheta_2 = 45^\circ\text{C}$, $h_2 = 110 \text{ kJ/kg}$, $x_2 = 25 \text{ g/kg}$).

Die Parallelen zur Strecke $\overline{P_1P_2}$ durch den Pol schneidet den Randmaßstab in $\Delta h/\Delta x = 4080 \text{ kJ/kg}$.

Absorption (Fortsetzung)

Für die ideale Verdünnung gelten folgende Beziehungen:

$$p_A = H \cdot x_{AS}$$

und

$$x_{AG} = \frac{H}{p} \cdot x_{AS}$$

Umrechnungsformeln

$$\zeta_{AG} = \frac{w_{AG}}{1 - w_{AG}}$$

$$\zeta_{AS} = \frac{w_{AS}}{1 - w_{AS}}$$

$$w_{AG} = \frac{\zeta_{AG}}{1 + \zeta_{AG}}$$

$$w_{AS} = \frac{\zeta_{AS}}{1 + \zeta_{AS}}$$

$$x_{AG} = \frac{\zeta_{AG}}{\frac{M_A}{M_G} + \zeta_{AG}}$$

$$x_{AS} = \frac{\zeta_{AS}}{\frac{M_A}{M_S} + \zeta_{AS}}$$

$$\zeta_{AG} = \frac{M_A \cdot x_{AG}}{M_G \cdot (1 - x_{AG})}$$

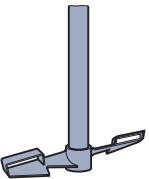
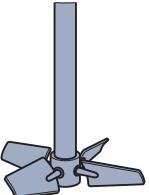
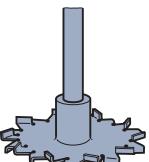
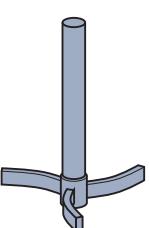
$$\zeta_{AS} = \frac{M_A \cdot x_{AS}}{M_S \cdot (1 - x_{AS})}$$

p	Gesamtdruck in der Absorptionsanlage in bar
p_A	Partialdruck des Absorptivs im Gasgemisch über der Flüssigkeit in bar
H	Henry-Konstante in bar
ζ_{AG}	Massenverhältnis Absorptiv zu Trägergas (ohne Einheit)
ζ_{AS}	Massenverhältnis Absorptiv zu Lösemittel (Solvent), ohne Einheit
w_{AG}	Massenanteil Absorptiv im Trägergas (ohne Einheit)
w_{AS}	Massenanteil Absorptiv im Lösemittel (Solvent), ohne Einheit
x_{AG}	Stoffmengenanteil Absorptiv im Trägergas (ohne Einheit)
x_{AS}	Stoffmengenanteil Absorptiv im Lösemittel (Solvent), 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

Auswahl einiger Henry-Konstanten H

Binäres System Absorptiv / Lösemittel	H in bar bei					Binäres System Absorptiv / Lösemittel	H in bar bei	
	0 °C	20 °C	40 °C	60 °C	0 °C		20 °C	
<i>Anorganisches Absorptiv in Wasser:</i>								
Br ₂ /Wasser	21,6	60,1		254,7				
Cl ₂ /Wasser	274,1	547,9	869,6	1213				
CO /Wasser	35 797	54 229	70 249	83 152				
CO ₂ /Wasser	737,8	1434	2360	3452				
H ₂ /Wasser	58 059	69 127	75 327	76 479				
H ₂ S /Wasser	272,1	488,6	744,6	1042				
HCl /Wasser	3,50	3,86	4,25	4,67				
N ₂ /Wasser	53 612	81 169	105 968	121 412				
NH ₃ /Wasser	2,09	2,83	3,85	5,04				
NO /Wasser	17 072	26 712	35 625	41 999				
O ₂ /Wasser	25 765	40 584	54 132	63 536				
SO ₂ /Wasser	16,8	34,9	66,0	111,9				
<i>Organisches Absorptiv in Wasser:</i>								
CH ₄ /Wasser	22 661	38 010	52 761	63 536				
C ₂ H ₂ /Wasser	725,1	1207	1775	2348				
C ₂ H ₄ /Wasser	5576	10 313	15 632	20 312				
C ₂ H ₆ /Wasser	12 766	26 656	42 824	56 833				
<i>Anorganisches Absorptiv in organischen Lösemittel:</i>								
CO / Benzol							1549	
CO / Tetrachlorethan							1177	1218
CO ₂ / Ethanol							91,3	135,1
H ₂ S / Ethanol							23,3	53,6
NO / Ethanol							1282	1497
N ₂ O / Benzol								70,4
N ₂ O / Ethanol							95,6	130,6
SO ₂ / Ethanol							2,22	4,25
<i>Organisches Absorptiv in organischen Lösemittel:</i>								
CH ₄ / Tetrachlorethan							317,3	348,6
CH ₄ / Benzol								484,9
C ₂ H ₂ / Methanol							31,3	
C ₂ H ₄ / Methanol							170,2	
C ₂ H ₆ / Methanol							192,8	

Rührer (Fortsetzung)**Rührer im Vergleich**

Rührer	Überwiegende Strömungsrichtung	Viskositätsbereich in Pa · s	Umfangs geschwindigkeit in m/s	Leistungskennzahl Ne (turbulent)	Bemerkung
Interprop-Rührer 	axial	bis 10	2 ... 15		$d_2/d_1 \approx 0,1 \dots 0,5$ Zum Homogenisieren, Dispergieren, Suspendieren, Begasen und zur Intensivierung des Wärmeaustauschs Wirkung wie Propellerrührer aber bessere Dispergierwirkung und größere Durchmesser möglich (günstig für große Behälter) Einsatz im turbulenten Bereich
Viskoprop-Rührer 	axial-radial	bis 100	3 ... 10		$d_2/d_1 \approx 0,1 \dots 0,7$ Zum Homogenisieren, Dispergieren, Suspendieren und Begasen Der Rührer erzeugt ein ähnliches Strömungsbild wie der Schrägblattrührer, allerdings bei höherer Scherwirkung. Variabler Blattstellwinkel Gut zu reinigen Einsatz im laminaren und turbulenten Bereich
Zahnscheiben-Rührer (Mizerscheibe) 	radial	bis 10	8 ... 30	0,2	$d_2/d_1 \approx 0,2 \dots 0,5$ (i. Allg. 0,33) Zum Dispergieren (flüssig/flüssig und flüssig/fest) und Emulgieren, zur Feststoffzerkleinerung und zum Nassmahlen Hohe Scherkräfte Einsatz im turbulenten und im Übergangsbereich
Impeller-Rührer 	radial	bis 10	2 ... 15	0,7 ... 0,5	$d_2/d_1 \approx 0,4 \dots 0,7$ (i. Allg. 0,57) Zum Homogenisieren, Dispergieren (flüssig/flüssig und flüssig/fest) und zur Intensivierung des Wärmeaustauschs Vibrationsarm (emaillierte Ausführungen für emaillierte Behälter) Einsatz im turbulenten Bereich

Eigenschaften von Apparatewerkstoffen

Die folgende Tabelle informiert über die physikalischen und mechanischen Eigenschaften typischer Apparatewerkstoffe und gibt Hinweise auf die chemische Beständigkeit und über Anwendungsbereiche. Es ist zu beachten, dass insbesondere die Stoffwerte von Hersteller zu Hersteller etwas variieren können.

Sofern nicht anders angegeben, beziehen sich die Daten auf 20 °C. Für den thermischen Längenausdehnungskoeffizienten ist jeweils der Mittelwert im Bereich von 20 °C bis 100 °C genannt. Die maximalen Anwendungstemperaturen geben z. T. den Beginn der Gefahr interkristalliner Korrosion an und können je nach Medium evtl. höher angesetzt werden.

Werkstoff-Nummer (nach DIN) und Kurzname (Kursiv: neue Bezeichnung)	Dichte ρ kg/m³	Maximale Anwendungs-temperatur ϑ_{\max} °C	Spezi-fischer elektr. Widerstand $10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$	Wärme-leit-fähigkeit λ W/(m · K)	Linearer Ausdeh-nungs-koeffizient $10^{-6} 1/\text{K}$	Spezi-fische Wärme-kapazität c J/(kg · K)	Elasti-zitäts-modul E N/mm²	Zug-festigkeit R_m N/mm²
Stähle, nichtrostend								
1.4006	7700	400	0,6	30	10,5	460	216000	450 – 800
X 12 Cr 13 bzw. <i>X10Cr13</i>		Beständig gegen H ₂ und H ₂ S, gegen Säuren nur begrenzt beständig. Für Rohre, Wärmeaustauscher, Armaturen u. Ä. in Crackanlagen, Molkereien, Papier- und Textilindustrie. Hochglanzpolierbar.						
1.4057	7700	400	0,7	25	10,0	460	216000	750 – 950
X 20 CrNi 17 2 bzw. <i>X19CrNi17-2</i>		Beständig gegen schwach oxidierende Säuren. Für Apparate, Ventile, Pumpen, Verdichter und allgemein für mechanisch beanspruchte Teile in der Essigsäure-, Papier-, Seifen- und Lebensmittelindustrie. Hohe Festigkeit. Hochglanzpolierbar.						
1.4104	7700	350	0,7	25	10,0	460	216000	540 – 850
X 12 CrMoS 17 bzw. <i>X14CrMoS17</i>		Für nicht zu hohe Korrosionsbeanspruchung. Automatenstahl für Massenteile wie Schrauben, Muttern usw.						
1.4122	7700	450	0,65	2,9	10,5	460	220000	800 – 900
X 35 CrMo 17 bzw. <i>X39CrMo17-1</i>		Sehr gute Verschleiß- und Erosionsbeständigkeit, auch bei hohen Temperaturen. Für Apparate, Pumpen, Verdichter u. Ä. Hochglanzpolierbar.						
1.4301	7900	300	0,73	15	16,0	500	200000	500 – 700
X 5 CrNi 18 10 (V2A) bzw. <i>X4CrNi18-10</i>		Gute chemische Beständigkeit gegen viele Laugen und organische Lösemittel, weniger gut beständig gegen viele anorganische und organische Säuren. Für Füllkörper, Apparate, Behälter, Armaturen u. Ä. in der Tieftemperaturtechnik (bis –200 °C), Chemie-, Papier-, Kunstdünger-, Nahrungs- und Getränkeindustrie. Gut schweißbar und hochglanzpolierbar.						
1.4306	7900	350 (800)	0,73	15	16,0	500	200000	450 – 700
X 2 CrNi 19 11 (V2A) bzw. <i>X2CrNi19-11</i>		Beständig u. a. gegen salpetersäurehaltige Lösungen (bis zu hohen Temperaturen und Konzentrationen) und gegen organische Säuren. Unempfindlich gegen Kornzerfall. Sehr breiter Anwendungsbereich. Für Rohre, Apparate, Komponenten, Druckbehälter u. Ä. in der chemischen-, der Nahrungsmittel-, der Seifen- und Kunstfaser- und der Pharma industrie, sowie in der Kerntechnik und in Salpetersäureanlagen. Hochglanzpolierbar.						
1.4311	7900	400	0,73	15	16,0	500	200000	550 – 760
X 2 CrNiN 18 10 bzw. <i>X2CrNiN18-10</i>		Gut beständig gegen interkristalline Korrosion. Für Druckbehälter und Rohre in der chemischen und pharmazeutischen Industrie, in Brauereien und Molkereien, in der Salpetersäureverarbeitung und in der Tieftemperaturtechnik. Hochglanzpolierbar.						
1.4401	7950	350	0,75	15	16,5	500	200000	510 – 710
X 5 CrNiMo 17 12 2 (V4A) bzw. <i>X4CrNiMo17-12-2</i>		Beständig gegen nicht oxidierende Säuren, chloridhaltige Medien und gegen Lochfraß. Für Transportbehälter und Rohre in der chemischen Industrie, in Brennereien, Brauereien und Molkereien, in der Zellstoff-, Kunstseide-, Seifen-, Textil-, Farben- und Fruchtsaftindustrie. Hochglanzpolierbar.						

Grafische Symbole (Bildzeichen) (Fortsetzung)

(nach DIN EN ISO 10628-2:2013-05)

Einrichtungen zum thermischen Trennen (Kolonnen und Trockner)

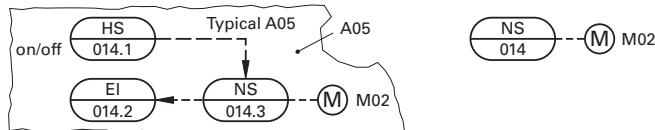
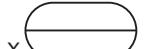
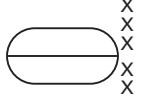
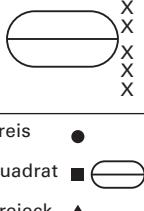
Grafisches Symbol	Bedeutung	Grafisches Symbol	Bedeutung
	Kolonne (allgemein)		Glockenboden Ventilboden Siebboden Boden mit Wehr
	Bodenkolonne (allgemein)		Trockner (allgemein)
	Kolonne mit Festbett		Bandtrockner bzw. Rollenbandtrockner
	Kolonne mit Fließbett		Drehstrommeltrockner bzw. Taumeltrockner
	Ventilbodenkolonne		Wirbelschichttrockner bzw. Fließbetttrockner
	Kolonne mit versetzten Böden und Wehren		Schranktrockner bzw. Kammentrockner bzw. Hordentrockner
	Glockenbodenkolonne		Tellertrockner bzw. Hordenumlauftröckner bzw. Ring-Etagentrockner
			Sprühdüse
	Kolonne mit zwei Festbett- zonen und dazwischen- liegender Sprühdüse		Zerstäubungstrockner

Druckmessung (Fortsetzung)**Die wichtigsten industriellen Druckmessgeräte im Vergleich** (Fortsetzung)

Kapselfedermanometer	Flüssigkeitsmanometer
Übliche Messbereiche: 2,5 mbar ... 1000 mbar Minimaler Messfehler: 0,1 % vom Skalenendwert Einsatztemperatur: bis 100 °C Mediumtemperatur	Übliche Messbereiche: 1 mbar ... ca. 1,6 bar Minimaler Messfehler: i. Allg. 0,3 % vom Messwert (bis 0,001 % möglich)
<ul style="list-style-type: none"> Für kleine und kleinste positive und negative Überdrücke Sehr kleiner Temperaturfehler (kleiner als bei Rohrfedermanometer) Auch für Differenzdruckmessung geeignet Einsatz meist für gasförmige Messmedien (für Flüssigkeiten mit Einschränkung) Bei hochviskosen und kristallisierenden Messmedien mit vorgeschaltetem Druckmittler einsetzbar Bis ca. 1,3fache Überlastsicherheit Flüssigkeiten einschließlich Kondensate sollten nicht ins Messwerk gelangen (Korrosionsgefahr und vergrößerter Messfehler) 	<ul style="list-style-type: none"> Sehr genaue Ausführungen möglich (neben der Druckwaage genauestes Druckmesssystem) Genaue Differenzdruckmessung auch bei hohen Absolutdrücken möglich Für Messung kleinster Drücke geeignet Wenig geeignet für rauhe Betriebsbedingungen (erschütterungs- und – in Glasausführung – bruchempfindlich) Bei Abweichung von der Raumtemperatur aufwendige Korrekturrechnungen erforderlich Meist auf Labor- und Technikumsbereich beschränkt
Kolbendruckwaagen	Induktive Druckaufnehmer
Übliche Messbereiche: 14 mbar ... > 8000 bar Minimaler Messfehler: 0,0035 % vom Messwert	Übliche Messbereiche: 0,6 mbar ... 4000 bar Minimaler Messfehler: 0,2 % vom Messwert
<ul style="list-style-type: none"> Sehr genau (Einsatz vorwiegend zur Kalibrierung bzw. Eichung anderer Druckmessgeräte) Für den Einsatz in der Produktion i. Allg. nicht geeignet (starker Dichtungsverschleiß im Dauerbetrieb, teuer und aufwendig) In speziellen Ausführungen Drücke bis 100000 bar möglich, bei Genauigkeiten bis 0,1 % Aufwendige Konstruktion (rotierender Kolben um Reibung an der Kolbendurchführung zu vermeiden) 	<ul style="list-style-type: none"> Für schnell wechselnde Drücke geeignet Bevorzugt zur Messung kleiner Drücke als Alternative zu DMS-Druckaufnehmern Kaum mechanische Verschleißteile Unmittelbare Erzeugung eines zur Fernübertragung geeigneten Signals Energieversorgung erforderlich Ex-Ausführungen möglich
Kapazitive Druckaufnehmer	Piezoelektrische Druckaufnehmer
Übliche Messbereiche: 1,25 mbar ... 4000 bar Minimaler Messfehler: 0,1 % vom Messwert Einsatztemperatur: -40 °C ... 85 °C	Übliche Messbereiche: 25 mbar ... 2500 bar Minimaler Messfehler: 0,1 % vom Messwert Einsatztemperatur: -200 °C ... 400 °C
<ul style="list-style-type: none"> Langzeitstabile hohe Messgenauigkeit Für Gase, Dämpfe und Flüssigkeiten geeignet Temperaturfehler praktisch vernachlässigbar Überlastsicherheit z. T. bis ca. 100fach Kaum mechanische Verschleißteile Unmittelbare Erzeugung eines zur Fernübertragung geeigneten Signals Z. T. auch bei explosiven Medien einsetzbar Energieversorgung erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> Besonders günstig bei schnell wechselnden Drücken (z. B. bei Kavitationsuntersuchungen) Kaum temperaturabhängig Keine elektrische Hilfsgröße zur Erzeugung der Messgröße erforderlich Kaum Verschleißteile Unmittelbare Erzeugung eines zur Fernübertragung geeigneten Signals In speziellen Ausführungen Messbereiche von 0,002 mbar bis ca. 26 000 bar möglich

Darstellung von Aufgaben der Prozessleittechnik (Forts.) nach DIN EN 62424: 2010-01

Wichtige Begriffe (Fortsetzung):

Signallinie 	Gestrichelte Linie zur Darstellung eines funktionalen Zusammenhangs zwischen PCE-Angaben. Ein Pfeil kennzeichnet dabei die Richtung des Informationsflusses. Die Linie beginnt am Oval einer PCE-Aufgabe, am Sechseck einer PCE-Leitfunktion oder an einer Schaltfunktion außerhalb des Ovals.
Prozessverbindungslinei 	Einfache durchgezogene Linie . Sie steht für den Informationsfluss zwischen Leitechnischen Geräten und prozesstechnischen Geräten oder Betriebsmitteln. Sie gibt nur den funktionalen Zusammenhang wieder und stellt keine tatsächliche Verbindung von Betriebsmitteln dar.
Unterlieferant 	Lieferant einer abgeschlossenen verfahrenstechnischen Einheit innerhalb einer Prozessanlage (als Hinweis für den Betreiber der Anlage auf einen Lieferanten). Wird dieses Feld hierzu nicht benötigt, kann es zur Darstellung anderer projektabgängiger Informationen verwendet werden.
Typical 	Repräsentant eines grafischen Diagramms einzelner Funktionen in einer Datenbank (Darstellung mehrerer typischerweise zusammenhängender und oft gebrauchter PCE-Aufgaben , z. B. einer Motoransteuerung). Hierfür wird eine Nummer festgelegt und als Platzhalter für die Zusammenstellung dieser PCE-Aufgaben <i>links oben außerhalb des Ovals angezeigt</i> .
	 <p>The diagram illustrates the use of the 'Typical' symbol. It shows a central oval labeled 'Typical A05' connected by dashed lines to several other functional blocks: 'HS on/off 014.1', 'EI 014.2', 'NS 014.3', 'M M02', and 'A05'. The 'NS 014.3' block is also connected to 'M M02'.</p>
Geräteinformationen 	Zur PCE-Kategorie (z. B. Durchfluss F) erforderliche zusätzliche Information über das Messverfahren (z. B. magnetisch induktiver Durchflussmesser MID, Messblende, pH (bei PCE-Kategorie A), Anforderungsklasse SIL 4, Voting 2oo3 etc.). Erläuterung: SIL steht für safety integrity level, gibt die Anforderungsklasse des Gerätes an und ist ein Maß für die Versagenswahrscheinlichkeit einer Sicherheitsfunktion. SIL 4 gewährleistet die höchste Sicherheit (nicht mehr als 1 gefährlicher Ausfall der Sicherheitsfunktion in 10 000 Jahren). 2oo3-Logik hat die Bedeutung „2 out of 3“, d. h. 3 Messwerte werden parallel erfasst und davon müssen 2 übereinstimmen. Fällt ein System aus, wird automatisch auf das intakte umgeschaltet.
Alarmierung Schaltung Anzeige 	Die Kennbuchstaben A (Alarmierung), O (Statusanzeige) sowie S und Z (automatische Aktionen) werden mit den nachgestellten Buchstaben H (für hoch bzw. oberer Grenzwert) und L (tief, für unterer Grenzwert) verwendet und zeigen das Auslösen einer entsprechenden Aktion bei erreichen des Grenzwertes an. Dabei sind drei Ebenen möglich und auf jeder Ebene können die Kennbuchstaben kombiniert werden (z. B. AS, OZ usw.). Die Funktionen sind außerhalb des Ovals <i>rechts oben</i> für obere Grenzwerte und <i>rechts unten</i> für untere Grenzwerte angeordnet, jeweils in drei Ebenen von der Mitte nach außen (z. B. AH für Hochalarm, AHH für Hoch-Hoch-Alarm und AHHH für Hoch-Hoch-Hoch-Alarm). Die Reihenfolge von Innen nach Außen ist O, A, S, Z .
Kreis Quadrat Dreieck 	Symbole für GMP-relevante (Kreis), qualitätsrelevante (Quadrat) und sicherheitsrelevante (Dreieck) PCE-Aufgaben. Das jeweilige Symbol steht so nahe wie möglich <i>rechts außerhalb des Ovals in Höhe der Mittellinie</i> .
Ort der Bedienoberfläche lokal zentraler Leitstand lokales Schaltpult 	Gibt an, ob sich die Bedienoberfläche am Messort selbst (lokal), in einem lokalen Schaltpult oder in einem zentralen Leitstand befindet. Erkennbar an keinem (lokal), einem (zentraler Leitstand) oder an zwei Mittelstrichen (lokales Schaltpult).