





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

13. Auflage

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

**Europa-Nr.: 70717**

**Autor:**

Walter Bierwerth

Studiendirektor a. D., Dipl.-Ing.

Eppstein/Taunus

**Unter Mitwirkung von**

Reto Ness

Dipl.-Ing.

Eppstein/Taunus

**Datenrecherche:**

Inge Bierwerth, Eppstein/Taunus

**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](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.

13. Auflage 2024

Druck 5 4 3 2 1

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

**ISBN 978-3-7585-7564-8**

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

© 2024 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
[www.europa-lehrmittel.de](http://www.europa-lehrmittel.de)

Satz: Daniela Schreuer, 78224 Singen

Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, Radevormwald

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

Druck: Plump Druck &amp; Medien GmbH, 53619 Rheinbreitbach

## 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 **Verfahrenstechniker**, 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, mithilfe 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: Dezember 2023, (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	<b>AL</b>	<b>MA</b>	<b>TM</b>	Allgemeiner Teil, Mathematik, Technische Mathematik	5	<b>WK</b>	Werkstoffkunde
2	<b>PH</b>	Physik			6	<b>TZ</b>	Technisches Zeichnen
3	<b>CH</b>	Chemie			7	<b>MSR</b>	Messen, Steuern, Regeln
4	<b>VT</b>	Verfahrenstechnik			8	<b>AS</b>	Arbeitssicherheit

Die Daten in dem vorliegenden Buch wurden aufwendig 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 (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 12. Auflage existieren folgende Veränderungen:

1. Die Inhalte wurden an die aktuellen Normen angepasst.
2. Die Gefahrstofflisten und die Liste der Sicherheitsdaten wurden aktualisiert und ergänzt (Stand: 12.2023)
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.

Frühjahr 2024

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
Oberflächenbildung, 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 Kondensatableitungen . . . . .	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

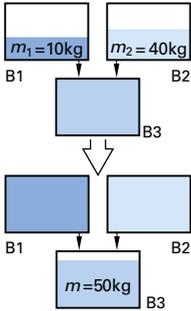
Korngrößenverteilung/Siebanalyse. . . . .	278
Filtration . . . . .	281
Sedimentation . . . . .	282

**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  $\zeta$**



**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):

$$w_1 = \frac{m_1}{m} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} = \frac{10 \text{ kg}}{10 \text{ kg} + 40 \text{ kg}} = \frac{10 \text{ kg}}{50 \text{ kg}} = 0,2 \triangleq 20 \%$$

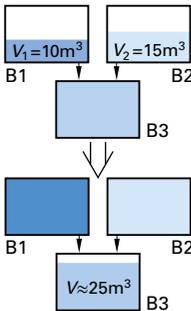
**Massenverhältnis**

$$\zeta_{ik} = \frac{m_i}{m_k}$$

$m_i$  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  $\varphi$  und Volumenverhältnis  $\psi$**



**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)

$$\varphi_1 = \frac{V_1}{V} = \frac{V_1}{V_1 + V_2} = \frac{10 \text{ m}^3}{10 \text{ m}^3 + 15 \text{ m}^3} = \frac{10 \text{ m}^3}{25 \text{ m}^3} = 0,4 \triangleq 40 \%$$

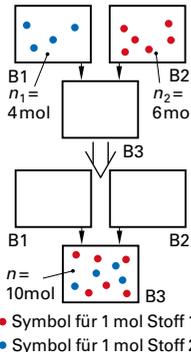
**Volumenverhältnis**

$$\psi_{ik} = \frac{V_i}{V_k}$$

$V_i$  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**

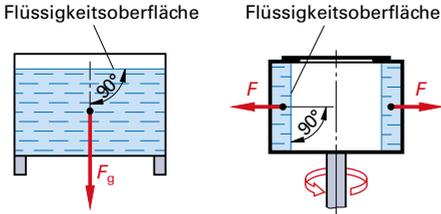
$$r_{ik} = \frac{n_i}{n_k}$$

$n_i$  Stoffmenge des Stoffes  $i$   
 $n_k$  Stoffmenge des Stoffes  $k$

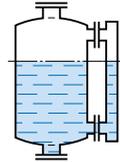
**B** Stoffmengenverhältnis Stoff 1 zu Stoff 2 (B 3):  $r_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{4 \text{ mol}}{6 \text{ mol}} = 0,67$

**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 Kapillarwirkung 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

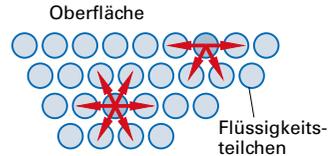
z. B. Quecksilber in einem Glasrohr

**Oberflächenspannung, Kapillarität**

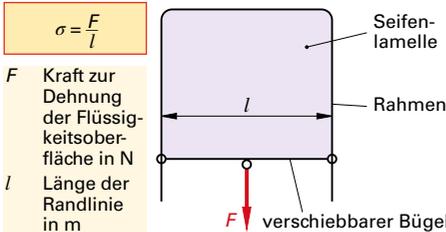
**Oberflächenspannung**

Formelzeichen:  $\sigma$  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:**



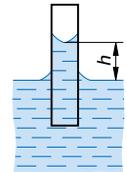
$$\sigma = \frac{F}{l}$$

$F$  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  
 $\sigma$  Oberflächenspannung in N/m  
 $\rho$  Dichte der Flüssigkeit in kg/m<sup>3</sup>  
 $g$  Fallbeschleunigung in m/s<sup>2</sup>  
 $d$  Durchmesser des Kapillarrohres in m



**Oberflächenspannung ausgewählter Stoffe bei 20 °C**

Stoff	$\sigma$ in N/m	Stoff	$\sigma$ in N/m	Stoff	$\sigma$ in N/m
Aceton (Dimethylketon)	0,023	Ethanol	0,022	Petroleum	0,027
Acetonitril	0,028	w(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH) = 40 %	0,030	Phenol	0,039
Ammoniak	0,021	w(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> 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 <sub>3</sub> ) = 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 <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) = 60 %	0,076
Dichlormethan	0,027	Methylamin	0,021	w(H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) = 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 <sub>3</sub> COOH) = 50 %	0,04	Nitrobenzol	0,043	Xylol	0,03

Elektronenkonfiguration der Elemente (Fortsetzung)

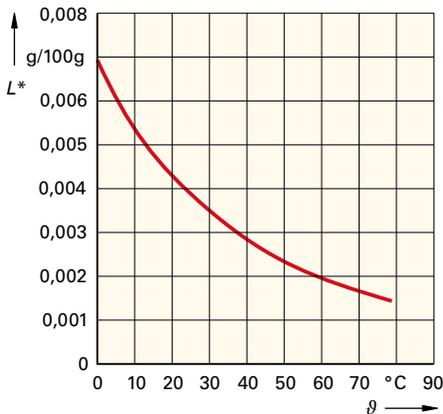
Ordnungs- zahl Z	Element	K	L	M	N	O	P	Q
54	Xe	1s <sup>2</sup>	2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup>	3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup> 3d <sup>10</sup>	4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup> 4d <sup>10</sup>	5s <sup>2</sup> 5p <sup>6</sup>		
55	Cs	1s <sup>2</sup>	2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup>	3s <sup>2</sup> 3p <sup>6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

3

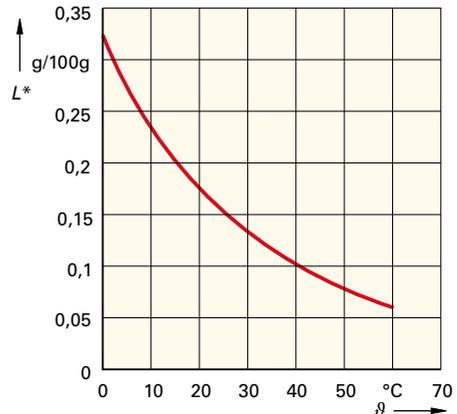
**Löslichkeit von Gasen in Wasser**

Gas	Formel	$L^*(X, \vartheta)$ in g/(100 g Wasser) bei einem Absolutdruck von $p = 101315$ Pa								
		0 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	40 °C	60 °C	80 °C	
Ammoniak	NH <sub>3</sub>	89,7		52,6				33,8	23,8	15,4
Argon	Ar		0,00671	0,00609	0,00559	0,00516				
Chlor	Cl <sub>2</sub>	1,46		0,729		0,591	0,459	0,329	0,223	
Distickstoffmonoxid	N <sub>2</sub> O		0,145	0,124	0,107	0,093				
Ethan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,0132	0,0076	0,00652	0,00568	0,00501	0,0037	0,0024	0,0013	
Ethen (Ethylen)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0,028		0,015			0,0097	0,0073		
Ethin (Acetylen)	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub> S	0,707	0,443	0,393	0,351	0,315	0,236	0,148	0,0765	
Kohlenstoffdioxid	CO <sub>2</sub>	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 <sub>4</sub>	0,00396	0,00278	0,00250	0,00227	0,00209	0,00159	0,00114		
Sauerstoff	O <sub>2</sub>	0,00695	0,0049	0,00444	0,00407	0,00377	0,00308	0,00227	0,00138	
Schwefeldioxid	SO <sub>2</sub>	22,8	12,71	10,62	8,97	7,63	5,54			
Stickstoff	N <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub>	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 <sub>3</sub> AsO <sub>4</sub>	0,6996	Cl	AgCl	0,2474	Mg	Mg <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0,2184		
	AgBr	0,5745		HCl	AgCl		0,2550	MgO	Mg <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0,3622
	AgCl	0,7526		Co	Co(C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>		0,1779	Mn	Mn <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0,3871
AgNO <sub>3</sub>	AgCl	1,1853	Cr	Co(C <sub>9</sub> H <sub>6</sub> ON) <sub>2</sub>	0,1538	MnO <sub>2</sub>	Mn <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0,6126		
Al	Al(C <sub>9</sub> H <sub>6</sub> ON) <sub>3</sub>	0,05872		Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	· 2 H <sub>2</sub> O			Mo	PbMoO <sub>4</sub>	0,2613
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5293			Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>		0,7342	Na	NaMg(UO <sub>2</sub> )	0,01536
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al(C <sub>9</sub> H <sub>6</sub> ON) <sub>3</sub>	0,1110	BaCrO <sub>4</sub>	0,2053	Ni	(C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> ) <sub>9</sub>				
As	Ag <sub>3</sub> AsO <sub>4</sub>	0,1620	PbCrO <sub>4</sub>	0,1609		Nb	· 6 H <sub>2</sub> O			
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mg <sub>2</sub> As <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0,4827	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,6842			Ni	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,6991	
	Ag <sub>3</sub> AsO <sub>4</sub>	0,2139	BaCrO <sub>4</sub>	0,3000	NiC <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub> N <sub>4</sub>			0,2031		
B	Mg <sub>2</sub> As <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0,6373	Cu	Cu(C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	0,1892	Pb		Ni(C <sub>9</sub> H <sub>6</sub> ON) <sub>2</sub>	0,1533	
	Ba	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3106	Cu(C <sub>9</sub> H <sub>6</sub> ON) <sub>2</sub>	0,1806		S	· 2 H <sub>2</sub> O		
Ba	BaCO <sub>3</sub>	0,6959	CuO	0,7989	SO <sub>2</sub>			BaSO <sub>4</sub>	0,1374	
	BaO	BaCrO <sub>4</sub>	0,5421	CuS		0,6646		SO <sub>4</sub>	BaSO <sub>4</sub>	0,2745
BaSO <sub>4</sub>		0,5884	CuSCN	0,5225		Sb	BaSO <sub>4</sub>		0,4116	
Ba(OH) <sub>2</sub>	BaCO <sub>3</sub>	0,7770	F	CaF <sub>2</sub>	0,4867		Si		Mg <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0,2783
Be	BaCO <sub>3</sub>	0,8683		Fe	Fe(C <sub>9</sub> H <sub>6</sub> ON) <sub>3</sub>			0,1144	Sn	Mg <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
	BeO	0,3603			Fe(CN) <sub>6</sub>	0,2635		Ta		PbCl <sub>2</sub>
Bi	BeP <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0,0939	Fe(OH) <sub>3</sub>		0,5226	Ti	PbCrO <sub>4</sub>			0,7450
	Bi(C <sub>9</sub> H <sub>6</sub> ON) <sub>3</sub> · H <sub>2</sub> O	0,3169	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,6994	Zn		PbSO <sub>4</sub>		0,6411	
Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Bi(C <sub>9</sub> H <sub>6</sub> ON) <sub>3</sub> · H <sub>2</sub> O	0,3533	Ga	0,7439			Zr		0,6832	
	Br	AgBr	0,4255	Ge		0,6941		Zr	BaSO <sub>4</sub>	0,1374
HBr	AgBr	0,4309	Hg	Hg(C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	0,4242	Zr			BaSO <sub>4</sub>	0,2745
	C	BaCO <sub>3</sub>	0,06087	I	Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>		0,8498		Zr	BaSO <sub>4</sub>
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	0,2729	In		AgI		0,5405	Zr		Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Ca	CaCO <sub>3</sub>		0,4397	K	In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,8271			Zr
HCN	AgCN	0,2018	La	K[B(C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>4</sub> ]		0,1091	Zr		SiO <sub>2</sub>	
HSCN	AgSCN	0,3560		Li	KCl	0,5244		Zr	SnO <sub>2</sub>	
Ca	CaCO <sub>3</sub>	0,4004	Mg		KClO <sub>4</sub>	0,2822			Zr	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	CaO	CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O		0,2743	Mg	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,8527			Zr
CaF <sub>2</sub>		0,5133	Mg	Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>		0,1798	Zr	TiO <sub>2</sub>		
Cd	CaCO <sub>3</sub>	0,5603		Mg	Mg(C <sub>9</sub> H <sub>6</sub> ON) <sub>2</sub>	0,06971		Zr	TiO(C <sub>9</sub> H <sub>6</sub> ON) <sub>2</sub>	
	Ce	Ca(C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	0,1795		Mg	· 2 H <sub>2</sub> O				Zr
Ce	CdO	0,8754	Mg	MgNH <sub>4</sub> PO <sub>4</sub>		0,09904	Zr		Zn(C <sub>9</sub> H <sub>6</sub> ON) <sub>2</sub>	
	CeO <sub>2</sub>	0,8141		Mg	· 6 H <sub>2</sub> O			Zr	ZnNH <sub>4</sub> PO <sub>4</sub>	
Ce	CdS	0,7781	Mg		MgO	0,6030			Zr	ZnO
	CeO <sub>2</sub>	0,8141		Mg			Zr			Zn <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
Ce	CeO <sub>2</sub>	0,8141	Mg					Zr		ZrO <sub>2</sub>
	CeO <sub>2</sub>	0,8141		Mg					Zr	

Stoffdaten ausgewählter chemischer Verbindungen (Fortsetzung)									
Stoff	Formel	$M$ kg/kmol	$\vartheta_b$ °C	$\vartheta_m$ °C	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$p_D$ hPa	$n$	$\Delta h_v$ kJ/kg	$\eta$ mPa · s
Crotonaldehyd, $\beta$ -Methylacrolein, Trans-2-butenal	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O	70,09	104	-74	850	43 20 °C	1,4355 20 °C		
Crotensäure, 2-Butensäure, $\beta$ -Methylacrylsäure	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	86,09	185	71,5	1018 15 °C	0,25 20 °C	1,4249 77 °C		
Cumol, Isopropylbenzol, 2-Phenylpropan	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	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 <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub> N <sub>3</sub>	184,41	190	154	1320 (ca.)	2,7 70 °C			
Cyclododecan	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	168,32	243	61	830 65 °C	0,1 20 °C	1,455 65 °C		
Cyclododecanon	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O	182,31	195	59	906 66 °C	0,01 20 °C	1,4571 66 °C		
Cyclohexan	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	84,16	80,7	6,5	779	104 20 °C	1,4266 20 °C	360	0,94 20 °C
Cyclohexanol	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	100,16	161,1	25,1	962,4	1,3 20 °C	1,4656 20 °C	423	4,6 25 °C
Cyclohexanon	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	98,15	155,6	-26	948	4,7 20 °C	1,4507 20 °C	456	2,22 20 °C
Cyclooctadien, Cyclododecatrien	C <sub>8</sub> H <sub>12</sub>	108,18	151	-70	882	6,5 20 °C	1,4905 25 °C		
1,3-Cyclopentadien	C <sub>5</sub> H <sub>6</sub>	66,10	40	-97,2	802 20 °C	492 20 °C	1,4440 20 °C		
Cyclopentan	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70,13	49,3	93,9	746 20 °C	436	1,4065 20 °C	390	0,46 20 °C
Cyclopenten	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	68,12	44,2	-135	772 20 °C	418 20 °C	1,4225 20 °C		0,35 20 °C
Decahydronaphthalin, cis-Decalin	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	138,25	195,6	-43	896,5 20 °C	100 50 °C	1,4810 20 °C	309	2,4 20 °C
Decan	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	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 <sub>12</sub> H <sub>28</sub> N <sub>2</sub>	200,37	303 ... 305						
Diammoniumhydrogen- phosphat, Gärnsalz	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	132,06	d	155 d	1619				
Dibrommethan	CH <sub>2</sub> Br <sub>2</sub>	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 <sub>6</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	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 <sub>6</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	147,0	172,0	-25	1288 20 °C	2,7	1,5459 20 °C		1,07 20 °C
1,4-Dichlorbenzol, p-Dichlorbenzol	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	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 <sub>14</sub> H <sub>9</sub> Cl <sub>5</sub>	354,49	260	108 ... 109					
1,1-Dichlorethan	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	98,96	57,3	-97,0	1176 20 °C	296	1,4164 20 °C	309	0,48 20 °C
1,2-Dichlorethan	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	98,96	83,5	-35,3	1246	104	1,4448 20 °C	324	0,84 20 °C
Dichlormethylphenyl- silan, Methylphenyl- dichlorsilan	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> Cl <sub>2</sub> Si	191,13	206 ... 207		1187 20 °C	0,41 20 °C		1518 20 °C	

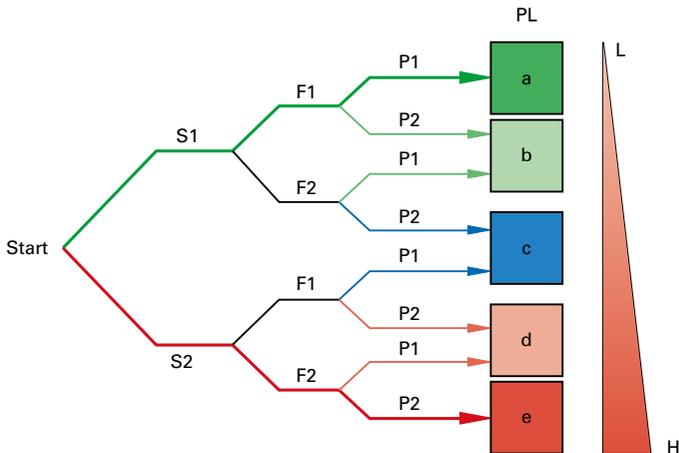
## Gefährdungsbeurteilung und Ausfallrisiko an einer Anlage

### 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<sub>r</sub> 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

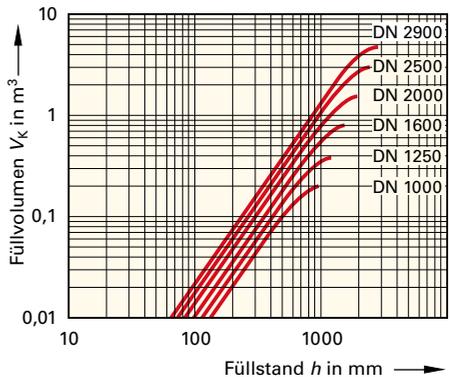
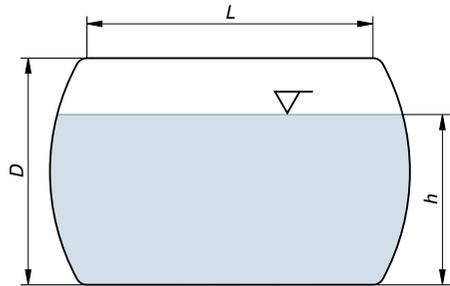
P1 **Vermeidung** unter bestimmten Bedingungen **möglich**

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:

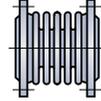
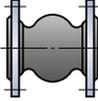
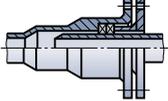
$$V = V_K + \left[ \frac{D^2}{4} \cdot \arccos\left(1 - \frac{2 \cdot h}{D}\right) - \sqrt{h \cdot D - h^2} \cdot \left(\frac{D}{2} - h\right) \right] \cdot L$$

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.

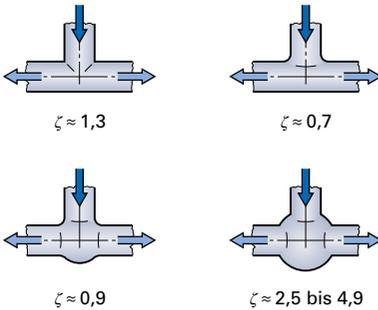
$$V = 0,40547 \text{ m}^3 + \left[ \frac{(1,6 \text{ m})^2}{4} \cdot \arccos\left(1 - \frac{2 \cdot 0,8 \text{ m}}{1,6 \text{ m}}\right) - \sqrt{0,8 \text{ m} \cdot 1,6 \text{ m} - (0,8 \text{ m})^2} \cdot \left(\frac{1,6 \text{ m}}{2} - 0,8 \text{ m}\right) \right] \cdot 1,5 \text{ m}$$

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

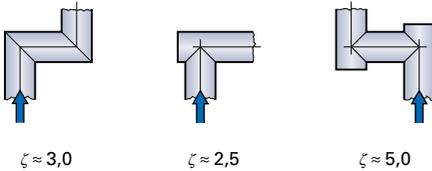
Kompensatoren im Vergleich				
Kompensator- typ	U-Bogen, Winkelbo- gen, Z-Bogen u. Ä.	Wellrohr- kompensator	Elastomer- (bzw. Gummi-) und Gewebe- kompensator	Stopfbuchsen- bzw. Gleitrohr- kompensator
Bild				
Nennweiten	Alle Nennweiten	DN 1 bis > DN 12 000	Gewebe-K.: alle Nenn- weiten. Gummi-K.: bis > 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"> <li>Für alle Betriebsbe- dingungen geeig- net</li> <li>Oft anlagebedingt ohnehin vorhanden</li> <li>Strömungsrichtung nicht festgelegt</li> <li>Große Betriebs- sicherheit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Geringer Platzbedarf</li> <li>Kaum Druckverlust</li> <li>Axial-, Lateral- und Angularbewegungen möglich</li> <li>Alle Nennweiten möglich</li> <li>Strömungsrichtung (ohne Leitrohr) be- liebig</li> <li>Bei mehrlagigen Bälgen große Betriebssicherheit</li> <li>Gute Schwingungs- und Geräuschdämp- fung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Geringer Platzbedarf</li> <li>Sehr gute Vibrations- und Geräuschdämp- fung</li> <li>Gute Aufnahme von Lateralbewegungen</li> <li>Kaum Druckverlust (auch ohne Leitrohr)</li> <li>Strömungsrichtung beliebig</li> <li>Geringe Rückstell- kräfte auf die Fest- punkte</li> <li>Großer Dehnungs- ausgleich bei kleiner Länge</li> <li>Große Lebensdauer bei Wechselbelastung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ausgleich relativ großer Dehnungen möglich</li> <li>Geringer Platzbedarf</li> <li>Geringer Druckver- lust</li> <li>Günstig bei hoher Abrasion, da Wand- dicke und Material frei wählbar</li> <li>Günstig bei großer chemischer Bean- spruchung aufgrund relativ freier Mate- rialauswahl</li> <li>Hohe Drücke mög- lich</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>Großer Platzbedarf</li> <li>Hoher Druckverlust</li> <li>Hohe Rückstell- kräfte auf die Fest- punkte</li> <li>Spannungen oft nicht genau erfass- bar</li> <li>In den Bögen evtl. erhöhte Abrasion und Korrosion</li> <li>Höhere Fehlerquelle durch relativ viele Schweißnähte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Balg empfindlich gegen Verschmutz- ung (Ablagerungen, Schweißspritzer usw.) und mechanische Beschädigung</li> <li>Große Rückstellkräfte auf die Festpunkte bei Axialkompensatoren</li> <li>Bei langen Kompensatoren Knickgefahr (Leitrohr erforderlich, damit eingeschränkte Lateral- und Angularbewegung)</li> <li>Keine freie Material- wahl</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elastomerkompensatoren verschleiß- anfällig und für hohe Drücke und Tempera- turen ungeeignet</li> <li>Gewebekompensatoren i. Allg. nur für Gase</li> <li>Alterung der Elastomere</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wartung erforderlich</li> <li>Keine Lateral- und Angularbewegung möglich</li> <li>Strömungsrichtung festgelegt</li> </ul>

Druckverlustzahlen von Formstücken (Fortsetzung)

T-Stücke im Vergleich



Rechtwinklige Umlenkungen



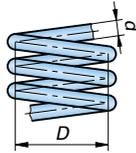
Rohrschlangen

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

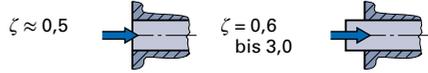
für  $500 \leq Re \leq 4000$  und  $12 \leq D/d \leq 120$

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

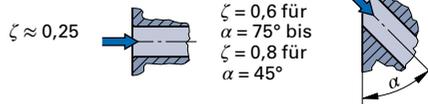
$\zeta_R$  Druckverlustzahl der gestreckten Leitung bei gleicher Reynoldszahl



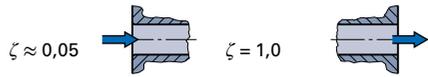
Rohrein- und -ausläufe



Einlauf, scharfkantig

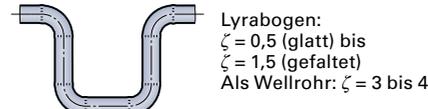


Einlauf, leicht gerundet  $\zeta = 0,5 + 0,3 \cdot \cos \alpha + 0,2 \cdot \cos^2 \alpha$



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

Dehnungsausgleicher (Kompensatoren)

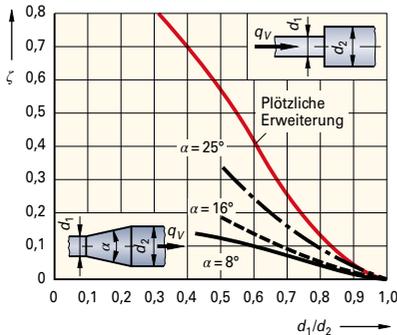


U-Bogen:  $\zeta = 0,2 \dots 0,35$   
 $\zeta \approx 2,4 \cdot \zeta_{90^\circ}$  mit Leitrohr  $\zeta$  bis 0,3 ohne Leitrohr  $\zeta$  bis 2,0

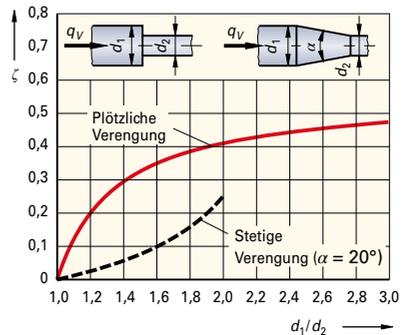
Hosenrohre



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 $\text{m}^3/\text{h}$	Nennförderhöhe $H$ in m	Nennförderstrom $Q$ in $\text{m}^3/\text{h}$	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 ISO 2858: 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:

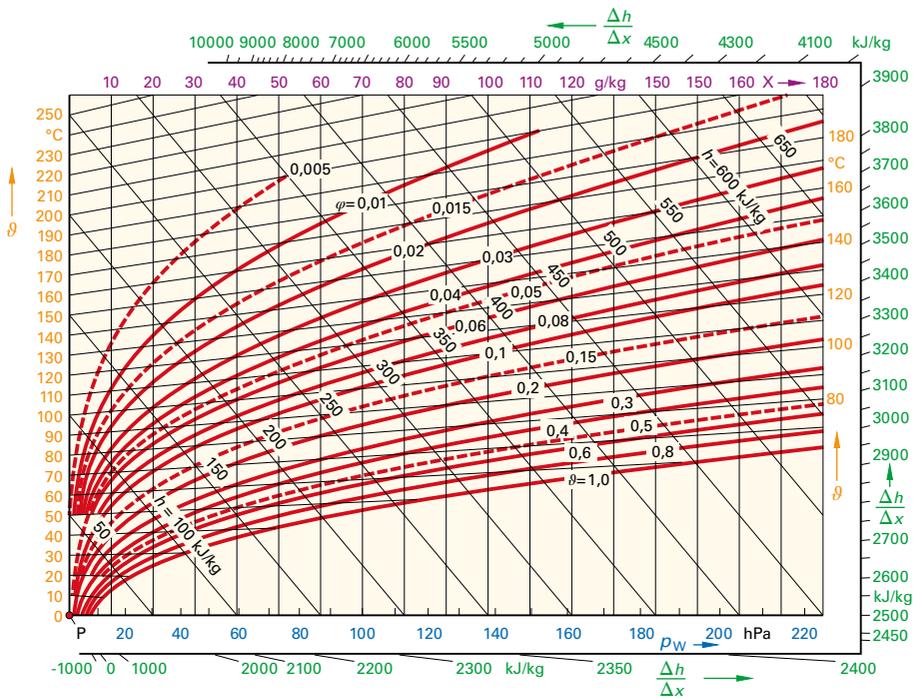
- A Wahl des K-Wertes nach Tabelle** (abhängig von der Bauart des Wärmeaustauschers, von den austauschenden Medien und von den Strömungsverhältnissen)
- B Berechnung der erforderlichen Heiz- oder Kühlmittelmenge** ( $q_{m1}$  oder  $q_{m2}$ ) oder, wenn diese Massenströme vorgegeben sind, Berechnung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

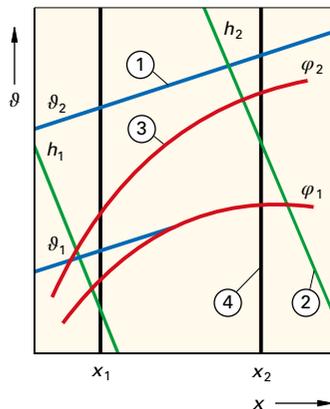
Trocknung im Luftstrom (Konvektionstrocknung)

**h-x-Diagramm für feuchte Luft nach Mollier**



**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  $\varphi$  für einen Druck von  $p_{abs} = 1$  bar. Bei abweichenden Drücken wird  $\varphi$  durch  $\varphi' = \varphi/p$  ersetzt.
- ④ Senkrechte Geraden:  
Linien konstanter Beladung x



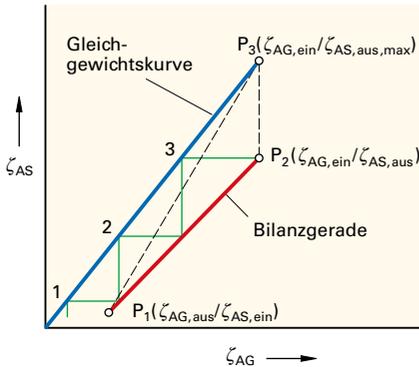
$\vartheta_2 > \vartheta_1$   
 $h_2 > h_1$   
 $\varphi_1 > \varphi_2$   
 $x_2 > x_1$

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:

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

$$\zeta_{AG} = \frac{m_{AG}}{m_G} \quad \text{und} \quad \zeta_{AS} = \frac{m_{AS}}{m_S}$$

Ist die *Henry-Konstante H* nicht bekannt, kann sie aus dem *bunsenschen* Absorptionskoeffizienten  $\alpha$  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 P<sub>1</sub> und P<sub>2</sub> 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:

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

$\zeta_{AS}$  Massenverhältnis Absorptiv zu Lösemittel (Solvent) (ohne Einheit)

$\zeta_{AG}$  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

$\rho_S$  Dichte des Lösemittels (Solvents) in kg/m<sup>3</sup>

$\alpha$  *Bunsenscher Absorptionskoeffizient* in m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> (gibt an, wie viel m<sup>3</sup> Absorptiv, auf  $p = 1,013$  bar und  $\theta = 0$  °C berechnet, sich bei der gegebenen Temperatur in  $V = 1$  m<sup>3</sup> 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

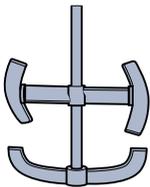
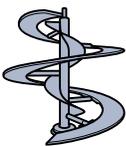
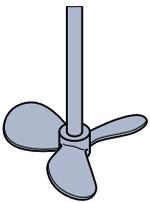
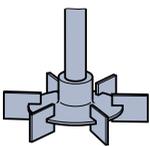
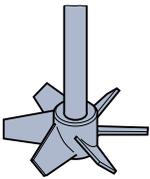
min Minimaler Wert

Das Mindestverhältnis von Lösemittel zu Trägergas beträgt:

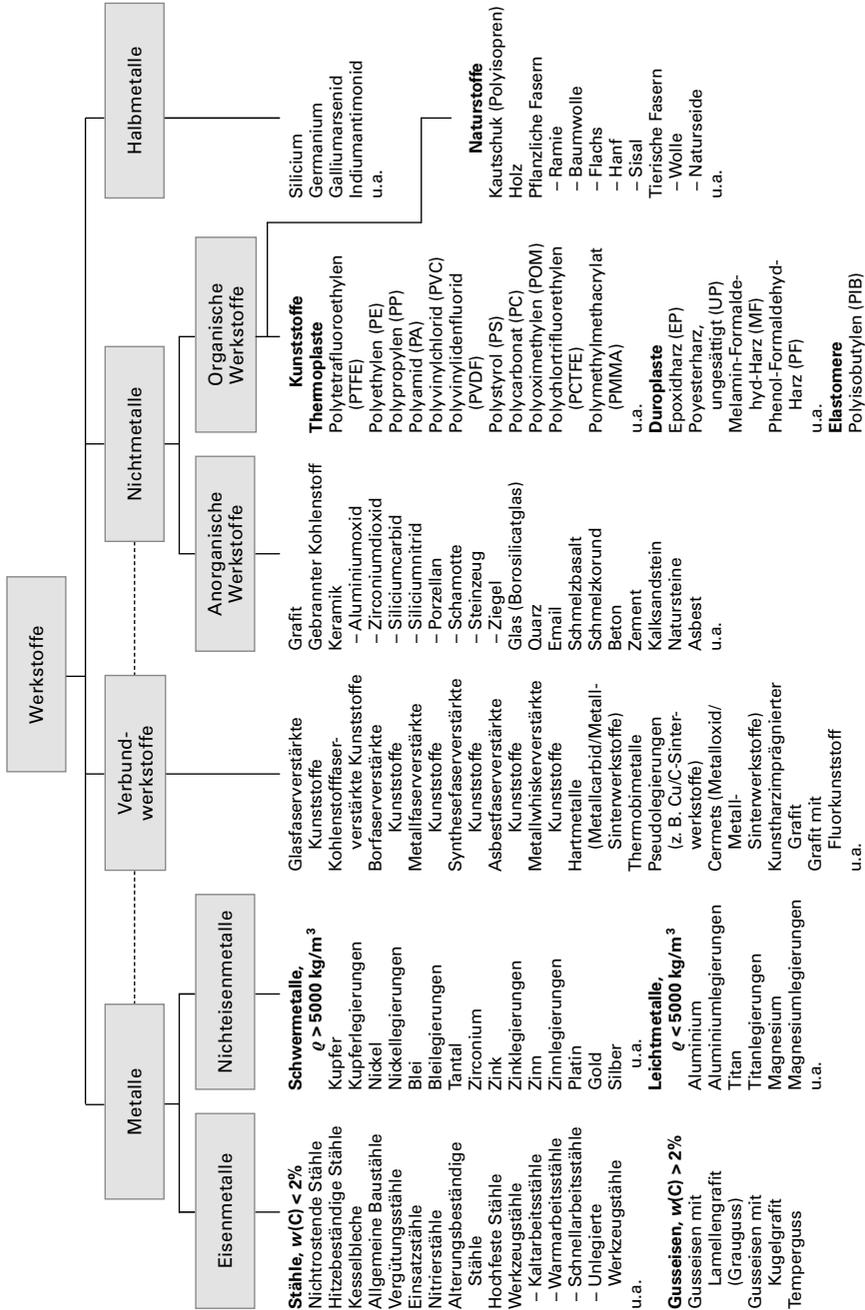
$$v_{\min} = \left(\frac{q_{m,S}}{q_{m,G}}\right)_{\min} = \frac{\zeta_{AG,ein} - \zeta_{AG,aus}}{\zeta_{AS,aus,max} - \zeta_{AS,ein}}$$

In der Praxis wird im Allgemeinen gewählt:

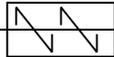
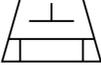
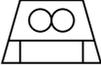
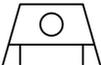
$$v = 1,3 \dots 1,6 \cdot v_{\min}$$

Rührer (Fortsetzung)					
Rührer im Vergleich					
Rührer	Überwiegende Strömungsrichtung	Viskositätsbereich in Pa · s	Umfangsgeschwindigkeit in m/s	Leistungszahl $Ne$ (turbulent)	Bemerkung
<b>Alpha®-Rührer</b> 	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
<b>Wendel-Rührer</b> 	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
<b>Propeller-Rührer</b> 	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
<b>Scheiben-Rührer</b> 	radial	bis 10 max. $\approx 15$	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
<b>Schräglblatt-Rührer</b> 	axial-radial	bis 10 max. $\approx 50$	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



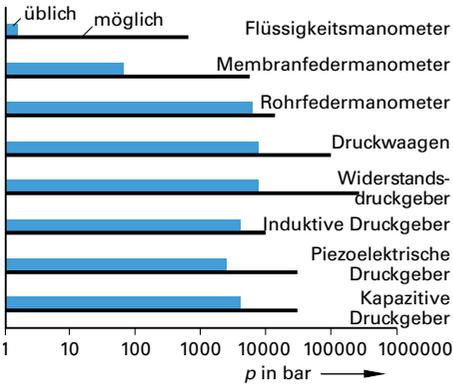
**Grafische Symbole (Bildzeichen) (Fortsetzung) (nach DIN EN ISO 10628-2:2013-05)**

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

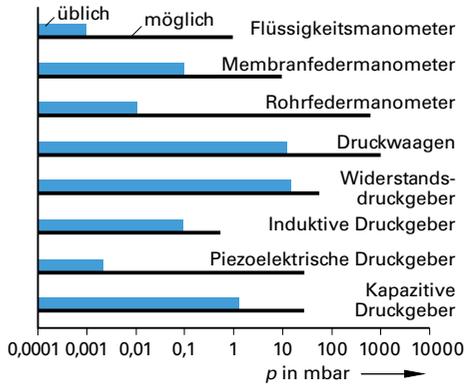
Druckmessung

Größte und kleinste Messbereiche der wichtigsten industriellen Druckmessgeräte

Größte Messbereiche:



Kleinste Messbereiche:



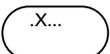
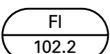
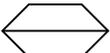
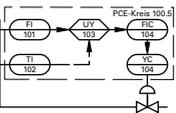
Die wichtigsten industriellen Druckmessgeräte im Vergleich

Rohr-(Kreis-, Spiral- oder Schrauben-) federdruckmanometer	Plattenfederdruckmanometer
<p>Übliche Messbereiche: 600 mbar ... 7000 bar (Spezialausführungen bis 0,01 mbar)</p> <p>Minimaler Messfehler: 0,1 % des Messwertes, 0,06 % in Spezialausführungen</p> <p>Einsatztemperatur: - 25 °C ... &gt; 100 °C</p>	<p>Übliche Messbereiche: 10 mbar ... 40 bar</p> <p>Minimaler Messfehler: 1,6 % des Skalendendwertes (0,6 % möglich)</p> <p>Einsatztemperatur: - 25 °C ... &gt; 100 °C</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Für Flüssigkeiten und Gase geeignet</li> <li>Lineare Skalen</li> <li>Temperaturfehler kleiner als bei Plattenfederdruckmanometer (aber größer als bei Kapsel federdruckmanometer)</li> <li>In besonderer Ausführung auch für Differenzdruckmessung geeignet</li> <li>Leichter zu fertigen als Plattenfederdruckmanometer</li> <li>Einsatz in aggressiver Umgebung möglich</li> <li>Größere Messwege als Plattenfederdruckmanometer</li> <li>Geräte mit elektrischem Ausgang erhältlich</li> <li>Füllung mit Dämpfungsflüssigkeit (Glycerin oder Siliconöl) zur Dämpfung von Erschütterungen und schnellen Lastwechseln möglich</li> <li>Für viskose und kristallisierende Messmedien weniger geeignet (evtl. Kombination mit Druckmittlern)</li> <li>Empfindlich gegen Vibrationen, Erschütterungen und schnell wechselnde Drücke</li> <li>Nur begrenzt gegen Überlast zu schützen (Überlastsicherheit meist bis ca. 1,3-fach, möglich bis ca. 2-fach)</li> <li>Relativ geringe Stellkraft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Für Flüssigkeiten und Gase geeignet</li> <li>Unempfindlicher gegen Vibrationen, Erschütterungen und schnell wechselnde Drücke als Rohrfederdruckmanometer</li> <li>Durch Abfangen große Überlast (bis 10-fach) möglich</li> <li>Durch Beschichtung oder vorgelegte Folien besser gegen Korrosion zu schützen als Rohrfederdruckmanometer</li> <li>Je nach Konstruktion auch für hochviskose und kristallisierende Messmedien geeignet</li> <li>Besonders für kleinere positive und negative Überdrücke geeignet</li> <li>Relativ große Stellkraft</li> <li>Kurze Einstellzeit</li> <li>Zur Messung kleinerer Differenzdrücke bei relativ hohen statischen Drücken geeignet</li> <li>Temperaturfehler z. T. doppelt so groß wie beim Rohrfederdruckmanometer</li> <li>Ausführungen mit Dämpfungsflüssigkeit (Glycerin oder Siliconöl) zur Dämpfung von Vibrationen, Erschütterungen und schnellen Lastwechseln</li> </ul>

**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><b>Funktionseinheit</b> (z. B. wie dargestellt ein pneumatisch angesteuertes Ventil) <b>mit der Aufgabe, die Stellgröße zu bilden</b>, 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 <b>PCE-Kategorie</b> (z. B. Füllstand) und die <b>Verarbeitungsfunktion einer PCE-Aufgabe</b> (z. B. Analoganzeige) eingetragen und in der unteren Hälfte deren eindeutige <b>Kennzeichnung</b> (z. B. durch eine Buchstaben- und Zahlenfolge nach bestimmtem Schlüssel)</p>
<p>PCE-Kategorie</p> 	<p><b>Kennbuchstabe (Erstbuchstabe in der oberen Hälfte des Ovals)</b>, der die <b>Aufgabe an die Prozessleittechnik</b> kenntlich macht, z. B. Kennbuchstabe für die zu messende Variable, etwa Füllstand L, Temperatur T usw. (siehe Tabelle)</p>
<p>PCE-Verarbeitungsfunktion</p> 	<p><b>Funktion in einem Prozess</b> (wie soll ein Messwert weiter verarbeitet werden, z. B. analog angezeigt, aufgezeichnet bzw. registriert usw.). Die PCE-Verarbeitungsfunktionen werden durch <b>Kennbuchstaben (Folgebuchstaben)</b> 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><b>Kennzeichnung zur eindeutigen Identifizierung einer PCE-Aufgabe</b> (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><b>Aufgabe an die Prozessleittechnik.</b> Jede PCE-Aufgabe wird im R&amp;I-Fließschema durch ein <b>Oval</b> dargestellt <b>mit allen Informationen über die Funktionsanforderungen</b> (PCE-Kategorie, PCE-Verarbeitungsfunktion, PCE-Kennzeichnung, Geräteinformationen, Ort der Bedienoberfläche usw.)</p>
<p>PCE-Leitfunktion</p> 	<p><b>Funktion der Prozessverarbeitung</b> (beinhaltet im Wesentlichen den <b>funktionalen Zusammenhang zwischen Sensor und Aktor</b> (Steller). Symbol für die Leitfunktion ist ein <b>Sechseck</b> mit einem <b>U</b> als Erstbuchstabe. Danach folgen ein oder mehrere <b>Kennbuchstaben für die PCE-Verarbeitungsfunktionen</b> (siehe Tabelle). <b>Sicherheitsrelevante Leitfunktionen</b> beginnen mit <b>UZ</b> 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&amp;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 <b>Steuerfunktion</b> angegeben (Kennbuchstabe <b>U</b>, wenn sicherheitsrelevant <b>UZ</b>, nachgestellt <b>Kennbuchstaben für die PCE-Verarbeitungsfunktionen</b>, z. B. S für binäre Steuerungs- bzw. Schaltfunktion). In der <i>unteren Hälfte</i> steht die <b>Referenzkennzeichnung</b>. Links neben dem Sechseck stehen <i>oberhalb der waagerechten Linie</i>, falls vorhanden, <b>Unterlieferant</b> und <b>Typikalkennzeichen</b>, <i>unterhalb</i> gegebenenfalls <b>Geräteinformationen</b>. Wird kein Unterlieferant angegeben, können im entsprechenden Feld andere projektspezifische Angaben gemacht werden.</p>
<p>PCE-Kreis</p> 	<p><b>Zusammenstellung von PCE-Aufgaben und PCE-Leitfunktionen</b>, 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>