

Inhaltsverzeichnis

01 Mathematische Grundlagen	3	Elektrische Leitfähigkeit (Konduktivität) von Flüssigkeiten	44
Addition und Subtraktion	3	Elektrochemisches Äquivalent und Faradaysche Gesetze	44
Multiplikation und Division	3	Strahlenoptik	45
Klammerrechnung	4	04 Chemie, Physikalische Chemie	48
Bruchrechnung	4	Lösungen	48
Prozentrechnung	4	Gravimetrie	48
Potenzrechnung	5	Volumetrie (Maßanalyse)	49
Radizieren (Wurzelrechnung)	5	Physikalische Chemie	49
Logarithmieren	5	Stoffumsatz und Ausbeute	51
Lineare Gleichungen	6	Massenanteile in chemischen Verbindungen	51
Quadratische Gleichungen	6	05 Fördern von Stoffen	52
Exponentialgleichungen	6	Dimensionierung von Rohrleitungen	52
Statistische Kennzahlen	7	Längenbezogene Masse von Rohren	53
Statistische Sicherheit und Vertrauensbereich	7	Kompensatoren (Dehnungsausgleicher)	53
Trigonometrie	8	Kondensatableiter und Kondensatleitungen	54
Lineare Regression	8	Strömungstechnische Kennzahlen von Armaturen	54
Ableitung von Funktionen	8	Druckverluste in Rohrleitungssystemen	55
Flächenberechnung	9	Erforderliche Pumpenleistung	58
Körperberechnung	10	Erforderliche Leistung eines Verdichters	59
02 Technische Mathematik	11	Massendurchsatz (Massenstrom) bei Feststoffförderern	59
Volumeninhalt, äußere Oberfläche und Füllhöhe wichtiger Behälterböden	11	06 Wärmeübertragung	60
Zinsrechnung, Kostenrechnung	11	Direkter Wärmeaustausch	60
Hebelgesetz und gibbssches Phasengesetz	13	Indirekter Wärmeaustausch (durch eine Trennwand hindurch)	61
Zusammensetzung von Mischphasen	13	Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten	63
Mischungsgleichung für Lösungen und andere Mischphasen	14	07 Thermische Trennverfahren	68
Herstellen von Maßlösungen	15	Trocknung	68
Herstellen gesättigter Lösungen, Löslichkeit	15	Dampfdruck nach Antoine	70
03 Physik	16	Destillation, Rektifikation	71
Dichte	16	Extraktion	73
Volumen und Masse	17	Absorption	74
Geschwindigkeit	18	Adsorption	76
Beschleunigung	18	08 Stoffvereinigung	78
Winkelgeschwindigkeit, Winkelbeschleunigung und Drehwinkel	20	Rühren	78
Drehzahl (Umdrehungsfrequenz) und Radialbeschleunigung	20	Mischen von Gasen	80
Kraft	21	Mischen von Feststoffen	80
Kraftzerlegung und Kräftezusammensetzung	22	09 Zerkleinerung	81
Mechanische Arbeit und Energie	23	Zerkleinerungsgesetze	81
Mechanische Leistung und Wirkungsgrad	24	Korngrößenverteilung, Siebanalyse	82
Reibung	26	10 Mechanisches Trennen	83
Drehmoment und Hebel	27	Filtration	83
Rollen und Flaschenzüge	28	Sedimentation	84
Druck, hydrostatischer Druck und Hydraulik	29	Windsichten	85
Wärmelehre	31	Elektrofiltration	86
Zustandsänderung von Gasen	37	Zentrifugation	86
Verdichtung von Gasen	38	11 Werkstoffkunde	87
Elektrische Größen	39	Werkstoffprüfung	87
Schaltung von elektrischen Widerständen	40	Legierungen	87
Messbereichserweiterung bei Messinstrumenten	41	Korrosion	88
Elektrische Arbeit und elektrische Leistung	42	12 Mess-, Steuerungs- und Regelungs-technik	89
Akkumulator	43	Regelungstechnik	89
Leistungsbestimmung mit dem Wechselstromzähler	43	Messtechnik	90
Elektroabscheidung	43		



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Chemieberufe

Walter Bierwerth

Formelsammlung Chemietechnik

1. Auflage

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

Europa-Nr.: 71163

Autor		
Walter Bierwerth	StD a. D., Dipl.-Ing.	Eppstein/Taunus
Unter Mitwirkung von		
Reto Ness	Dipl.-Ing.	Eppstein/Taunus

Bildbearbeitung:
Verlag Europa-Lehrmittel, Abt. Bildbearbeitung, Ostfildern

Die im Buch verwendeten Formelzeichen entsprechen der Normenreihe DIN EN ISO 80000 und den Normen DIN EN 12723, DIN EN ISO 6892-1, DIN EN 60027-6 und DIN IEC 60050-351.

1. Auflage 2015, korrigierter Nachdruck 2024

Druck 6

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

ISBN 978-3-8085-7116-3

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

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

Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, Radevormwald

Satz: rkt, 51379 Leverkusen

Druck: Plump Druck und Medien GmbH, 53619 Rheinbreitbach

Addition und Subtraktion

$$a + a = 2 \cdot a$$

$$a + b = c$$

$$3a - 2a = 1a = a$$

$$a - a = 0$$

$$a + 0 = a$$

Kommutativgesetz (Gesetz der Vertauschung)

$$a + b + c = a + c + b = c + b + a$$

Assoziativgesetz (Gesetz der Zusammenfassung)

$$a + (b + c) = (a + b) + c = a + b + c$$

$$a + b + c + d = (a + b) + (c + d) = a + (b + c + d)$$

Bei Subtraktionen Vorzeichenregeln der Klammerrechnung beachten (siehe Abschnitt Klammerrechnung)

$$(+a) + (+b) = a + b$$

$$(+a) + (-b) = a - b$$

$$(+a) - (+b) = a - b$$

$$(+a) - (-b) = a + b$$

$$-(a - b) = -a + b = b - a$$

Vorzeichenwechsel beim Setzen oder Auflösen einer Klammer, vor der ein Minus steht

$$a - b + c - d = a - (b - c + d) = (a + c) - (b + d)$$

$$ab - c - d = ab - (c + d)$$

$$ab - c + d = ab - (c - d)$$

Distributivgesetz (Gesetz der Verteilung)

$$a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c$$

Auflösen verschachtelter Klammern

von innen nach außen

$$[a \cdot (b + c) - (d + e - z)] = [(a \cdot b + a \cdot c) - (d + e - z)] = a \cdot b + a \cdot c - d - e + z$$

Multiplikation und Division

Multiplikation

$$a \cdot b = c$$

$$a \cdot 0 = 0$$

$$(a + b + c) \cdot 0 = 0$$

Kommutativgesetz (Gesetz der Vertauschung)

$$a \cdot b \cdot c = a \cdot c \cdot b = b \cdot c \cdot a$$

Assoziativgesetz (Gesetz der Zusammenfassung)

$$a \cdot b \cdot c \cdot d = a \cdot (c \cdot b \cdot d) = (a \cdot c) \cdot (b \cdot d)$$

Distributivgesetz (Gesetz der Verteilung)

$$a \cdot (b + c - d) = a \cdot b + a \cdot c - a \cdot d$$

Vorzeichenregeln

$$(+a) \cdot (+b) = a \cdot b = ab$$

$$(+a) \cdot (-b) = -a \cdot b = -ab$$

$$(-a) \cdot (-b) = a \cdot b = ab$$

$$(-a) \cdot (+b) = -a \cdot b = -ab$$

Division

$$a : b = \frac{a}{b}$$

$$\frac{a}{b} : \frac{c}{d} = \frac{a}{b} \cdot \frac{d}{c} = \frac{ad}{bc}$$

$$\frac{\frac{a}{b}}{\frac{c}{d}} = \frac{a \cdot d}{b \cdot c}$$

$$a : (b : c) = a : \frac{b}{c} = \frac{a}{\frac{b}{c}} = \frac{a \cdot c}{b} = \frac{ac}{b}$$

$$a : b \cdot c = \frac{a}{b} \cdot c = \frac{a \cdot c}{b} = \frac{ac}{b}$$

$$a : (b \cdot c) = \frac{a}{b \cdot c} = \frac{a}{bc}$$

Dividieren von Summen

$$\frac{a + b}{c} = \frac{a}{c} + \frac{b}{c}$$

$$\frac{a - b}{a} = \frac{a}{a} - \frac{b}{a} = 1 - \frac{b}{a}$$

$$\frac{a + b - c}{d + e} = \frac{a}{d + e} + \frac{b}{d + e} - \frac{c}{d + e}$$

Vorzeichenregeln

$$\frac{(+a)}{(+b)} = + \frac{a}{b} = \frac{a}{b}$$

$$\frac{(-a)}{(+b)} = - \frac{a}{b}$$

$$\frac{(-a)}{(-b)} = + \frac{a}{b} = \frac{a}{b}$$

$$\frac{(+a)}{(-b)} = - \frac{a}{b}$$

Klammerrechnung	Bruchrechnung
<p>Pluszeichen vor der Klammer (beim Auflösen der Klammer keine Änderung der Vorzeichen)</p>	<p>Multiplizieren zweier Brüche miteinander (man multipliziert Zähler mal Zähler und Nenner mal Nenner)</p>
$3a + (6b - 2c) = 3a + 6b - 2c$	$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d}$
<p>Minuszeichen vor der Klammer (beim Auflösen Vorzeichenwechsel in der Klammer)</p>	<p>Erweitern von Brüchen (Zähler und Nenner mit dem gleichen Faktor erweitern – der Wert des Bruches wird nicht verändert)</p>
$3a - (6b - 2c) = 3a - 6b + 2c$ $3a - (6b \boxed{-} 2c) = 3a - 6b \boxed{+} 2c$	$\frac{a}{b} = \frac{a \cdot c}{b \cdot c}$
<p>Multiplizieren mit einer Klammer</p>	<p>Summieren von Brüchen durch Hauptnennerbildung</p>
$a \cdot (b - c) = a \cdot b - a \cdot c = ab - ac$	$\frac{a}{b} + \frac{c}{d} = \frac{a \cdot d}{b \cdot d} + \frac{c \cdot b}{d \cdot b} = \frac{ad}{bd} + \frac{cb}{bd} = \frac{ad + cb}{bd}$
<p>Multiplizieren von Klammerausdrücken (Summen) Jeder Summand der einen Klammer wird mit jedem Summanden der anderen Klammer multipliziert</p>	<p>Kürzen von Brüchen (Zähler und Nenner durch den gleichen Faktor dividieren)</p>
$(a + b) \cdot (c + d) = a \cdot c + a \cdot d + b \cdot c + b \cdot d$ $= ac - ad + bc + bd$	$\frac{ac}{a} = \frac{a \cdot c}{a} = \frac{a}{a} \cdot c = c$
$(a + b) \cdot (c - d) = a \cdot c - a \cdot d + b \cdot c - b \cdot d$ $= ac - ad + bc - bd$	<p>Aus Summen darf nicht direkt gekürzt werden, erst ein übergeordnetes Produkt bilden</p>
$(a + b) \cdot (c - d + e)$ $= a \cdot c - a \cdot d + a \cdot e + b \cdot c - b \cdot d + b \cdot e$ $= ac - ad + ae + bc - bd + be$	$\frac{ab + ac}{a} = \frac{a \cdot (b + c)}{a} = b + c$
<p>1. Binomische Formel</p>	<p>Prozentrechnung</p>
$(a + b)^2 = (a + b) \cdot (a + b) = a^2 + 2ab + b^2$	<p>p = Prozentsatz (%) G = Grundwert P = Prozentwert E = Endwert N = Nettowert B = Bruttowert</p>
<p>2. Binomische Formel</p> $(a - b)^2 = (a - b) \cdot (a - b) = a^2 - 2ab + b^2$	$P = \frac{p}{100\%} \cdot G$ $p = \frac{100\% \cdot P}{G}$
<p>3. Binomische Formel</p> $(a + b) \cdot (a - b) = a^2 - b^2$	$G = \frac{100\% \cdot P}{p}$
<p>Ausklammern eines gemeinsamen Faktors in der Klammer</p>	<p>Prozentaufschlag</p> $E = G + \frac{p}{100\%} \cdot G$
$(ae + be + ce) = e \cdot (a + b + c)$	<p>Nettowert</p>
<p>Dividieren eines Klammerausdrucks</p> $(a + b) : c = \frac{a + b}{c} = \frac{a}{c} + \frac{b}{c}$	$N = \frac{B}{1 + \frac{p}{100\%}}$ $N = \frac{B \cdot 100\%}{100\% + p}$

Potenzrechnung	Radizieren (Wurzelrechnung)
$a^n = a \cdot a \cdot a \cdot \dots \quad (n \text{ Faktoren})$	$\sqrt[n]{a} = a^{\frac{1}{n}} \quad \sqrt[2]{a} = \sqrt{a}$
$a^1 = a \quad a^0 = 1 \quad (\text{für } a \neq 0)$	$\sqrt[n]{a^n} = (\sqrt[n]{a})^n = (a^{\frac{1}{n}})^n = a^{\frac{1}{n} \cdot n} = a^1 = a$
<p>Beim Wechsel der Bruchstrichseite ändert sich das Vorzeichen beim Exponenten</p>	<p>Wurzel aus einem Produkt</p> $\sqrt[n]{a \cdot b} = \sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b} \quad \sqrt{a} \cdot \sqrt{a} = \sqrt{a^2} = (\sqrt{a})^2 = a$
$a^{-m} = \frac{1}{a^m} \quad \frac{1}{a^{-m}} = a^m$	<p>Wurzel aus einem Bruch</p> $\sqrt[n]{\frac{a}{b}} = \frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}}$
<p>Potenzen mit gleicher Basis (sie werden multipliziert, indem man die Exponenten addiert und sie werden dividiert, indem man den Exponenten des Nenners von dem des Zählers subtrahiert)</p>	<p>Wurzel aus einer Potenz</p> $\sqrt[n]{a^m} = (a^m)^{\frac{1}{n}} = a^{m \cdot \frac{1}{n}} = a^{\frac{m}{n}}$ $a^{m \cdot x} = (a^m)^x = a^{m \cdot x} = a^{\frac{m \cdot x}{1}} = a^{\frac{m \cdot x}{n \cdot x}} = a^{\frac{m}{n}}$
$a^m \cdot a^n = a^{m+n} \quad a^m : a^n = \frac{a^m}{a^n} = a^{m-n}$	<p>Wurzel aus einer Wurzel</p> $\sqrt[n]{\sqrt[m]{a}} = (a^{\frac{1}{m}})^{\frac{1}{n}} = a^{\frac{1}{m} \cdot \frac{1}{n}} = a^{\frac{1}{n \cdot m}} = \sqrt[n \cdot m]{a}$
<p>Potenzen mit gleichem Exponenten</p> $\frac{a^m}{b^m} = \left(\frac{a}{b}\right)^m$	<p>Logarithmieren</p> <p>$b = \text{Logarithmus} \quad n = \text{Basis} \quad a = \text{Numerus}$</p> $b = \log_n a \Rightarrow n^b = a$
<p>Potenzieren von Potenzen (die Exponenten werden miteinander multipliziert)</p> $(a^m)^n = a^{m \cdot n} = (a^n)^m$	<p>$\lg = \log_{10}$ (dekadischer Logarithmus) $\ln = \log_e = \log_{2,718}$ (natürlicher Logarithmus) $\text{lb} = \log_2$ (binärer Logarithmus)</p> $\log_n a^m = m \cdot \log_n a$
<p>Potenzieren von Produkten (jeder Faktor wird für sich potenziert)</p> $(a \cdot b)^n = a^n \cdot b^n$	$\log_n (a \cdot b) = \log_n a + \log_n b$ $\log_n (a^m \cdot b) = m \cdot \log_n a + \log_n b$ $\log_n \frac{a}{b} = \log_n a - \log_n b$ $-\log_n a = \log_n \frac{1}{a}$
<p>Potenzieren einer negativen Basis</p> $(-a)^m = a^m \quad \text{für positive ganzzahlige } m$ $(-a)^m = -(a^m) \quad \text{für negative ganzzahlige } m$	

Lineare Gleichungen	Quadratische Gleichungen	
<p>Allgemeine Form</p> $ax + b = c$	<p>Allgemeine Form</p> $ax^2 + bx + c = 0$	<p>Lösungsformel</p> $x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$
<p>Regeln beim Umstellen</p> <p>Auf beiden Seiten der Gleichung muss jeweils die gleiche Operation durchgeführt werden.</p>	<p>Normalform</p> $x^2 + px + q = 0$	<p>Lösungsformel</p> $x_{1,2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}$
<p>Addieren auf beiden Seiten</p> $\begin{aligned} x - b &= c \\ x - b + b &= c + b \\ x - \cancel{b} + \cancel{b} &= c + b \\ x &= c + b \end{aligned}$	<p>Subtrahieren auf beiden Seiten</p> $\begin{aligned} x + b &= c \\ x + b - b &= c - b \\ x + \cancel{b} - \cancel{b} &= c - b \\ x &= c - b \end{aligned}$	
<p>Erweitern beider Seiten durch Multiplikation</p> $\begin{aligned} \frac{x}{b} &= c \\ \frac{x}{b} \cdot b &= c \cdot b \\ \frac{x \cdot \cancel{b}}{\cancel{b}} &= c \cdot b \\ x &= c \cdot b \end{aligned}$	<p>Kürzen beider Seiten durch Division</p> $\begin{aligned} a \cdot x &= c \\ \frac{a \cdot x}{a} &= \frac{c}{a} \\ \frac{\cancel{a} \cdot x}{\cancel{a}} &= \frac{c}{a} \\ x &= \frac{c}{a} \end{aligned}$	
<p>Quadrieren beider Seiten</p> $\begin{aligned} \sqrt{x} &= a + b \\ (\sqrt{x})^2 &= (a + b)^2 \\ x &= a^2 + 2ab + b^2 \end{aligned}$	<p>Radizieren beider Seiten</p> $\begin{aligned} x^2 &= b + c \\ \sqrt{x^2} &= \sqrt{b + c} \\ x &= \sqrt{b + c} \end{aligned}$	
<p>Logarithmieren beider Seiten</p> $\begin{aligned} a^x &= \frac{b \cdot c}{d} \\ x \cdot \log a &= \log \left(\frac{b \cdot c}{d} \right) \\ x \cdot \log a &= \log b + \log c - \log d \\ x &= \frac{\log b + \log c - \log d}{\log a} \end{aligned}$	<p>Exponentialgleichungen</p> <p>Gleiche Basis Lösung durch Exponentenvergleich</p> $a^x = a^m \quad x = m$ <p>Ungleiche Basis Lösung durch Logarithmieren</p> $a^x = b^m \quad x \cdot \log a = m \cdot \log b$ <p>Vor dem Logarithmieren das Glied mit dem gesuchten Exponenten auf einer Seite isolieren</p> $\begin{aligned} a^x + c &= d \cdot b^m \\ a^x &= d \cdot b^m - c \\ \log a^x &= \log (d \cdot b^m - c) \\ x \cdot \log a &= \log (d \cdot b^m - c) \\ x &= \frac{\log (d \cdot b^m - c)}{\log a} \end{aligned}$	
$\begin{aligned} \sqrt[n]{a} &= b \cdot c \\ a^{\frac{1}{n}} &= b \cdot c \\ \frac{1}{n} \cdot \log a &= \log (b \cdot c) \\ \frac{1}{n} \cdot \log a &= \log b + \log c \end{aligned}$	$\begin{aligned} \sqrt[n]{a^x} &= b^m \\ \sqrt[n]{a^x} &= b^m \cdot c \\ \log \sqrt[n]{a^x} &= \log (b^m \cdot c) \\ \log (a^x)^{\frac{1}{n}} &= \log b^m + \log c \\ \frac{1}{n} \cdot \log a^x &= m \cdot \log b + \log c \quad \cdot n \\ \log a^x &= (m \cdot \log b + \log c) \cdot n \\ x \cdot \log a &= n \cdot m \cdot \log b + n \cdot \log c \\ x &= \frac{n \cdot m \cdot \log b + n \cdot \log c}{\log a} \end{aligned}$	

Statistische Kennzahlen

Arithmetischer Mittelwert

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \qquad \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

Arithmetischer Mittelwert bei Klassenbildung

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i \cdot n_i) \qquad \bar{x} = \frac{x_1 \cdot n_1 + x_2 \cdot n_2 + \dots + x_k \cdot n_k}{n}$$

Geometrischer Mittelwert

$$x_g = \sqrt{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot \dots \cdot x_n}$$

Logarithmischer Mittelwert

$$x_{\log} = \frac{x_2 - x_1}{\ln x_2 - \ln x_1} \qquad x_2 > x_1 \text{ und } x_1, x_2 > 0$$

Varianz

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$s^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n-1}$$

Standardabweichung

$$s = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$s^2 = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Standardabweichung bei Klassenbildung

$$s = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})^2 \cdot n_i]}$$

$$s^2 = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 \cdot n_1 + (x_2 - \bar{x})^2 \cdot n_2 + \dots + (x_k - \bar{x})^2 \cdot n_k}{n-1}}$$

Variationskoeffizient

$$v = \frac{s}{|\bar{x}|}$$

- x Merkmalswert (betrachtete Größe, z.B. Temperatur)
- \bar{x} Arithmetischer Mittelwert der Beobachtungs- bzw. Messwerte (handelt es sich um den Mittelwert aller Elemente also der Grundgesamtheit,

z.B. aller Teile einer Fertigung, so wird der Wert als wahrer Mittelwert bezeichnet und das Formelzeichen μ verwendet)

- x_i Einzelner Beobachtungswert (Messwert bzw. Stichprobenwert i mit $i = 1, 2, 3, \dots$)
- n Anzahl der Beobachtungswerte (z.B. Anzahl der Stichproben)
- k Anzahl der Klassen
- x_g Geometrischer Mittelwert
- x_{\log} Logarithmischer Mittelwert
- s^2 Varianz
- s Standardabweichung (bei der Standardabweichung aus der Grundgesamtheit handelt es sich um die wahre Standardabweichung und es wird das Formelzeichen σ verwendet)
- v Variationskoeffizient
- $|\bar{x}|$ Betrag des arithmetischen Mittelwertes

Statistische Sicherheit und Vertrauensbereich

Vertrauensbereich (Student-Verteilung, t-Verteilung) **W** nach Gosset und **wahrer arithmetischer Mittelwert μ** für die statistische Sicherheit $P = 95 \%$ und $P = 99 \%$

$$W = \pm \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}} \qquad \mu = \bar{x} \pm W \qquad \mu = \bar{x} \pm \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}}$$

n	t (95 %)	t (99 %)	n	t (95 %)	t (99 %)
2	12,70	63,70	22	2,08	2,83
4	3,18	5,84	24	2,07	2,81
6	2,57	4,03	26	2,06	2,79
8	2,36	3,50	28	2,05	2,77
10	2,26	3,25	30	2,05	2,76
12	2,20	3,11	50	2,01	2,68
14	2,16	3,01	100	1,98	2,63
16	2,13	2,95	200	1,97	2,60
18	2,11	2,90	> 200	1,96	2,58
20	2,09	2,86			

Vertrauensbereich für die Standardabweichung

$$K_U \cdot s \leq \sigma \leq K_O \cdot s$$

n	K_U	K_O	n	K_U	K_O
3	0,52	6,28	20	0,76	1,46
4	0,57	3,73	30	0,80	1,34
5	0,60	2,87	50	0,84	1,25
6	0,62	2,45	100	0,88	1,16
8	0,66	2,04	200	0,91	1,11
10	0,69	1,83	500	0,94	1,07
12	0,71	1,70	1000	0,96	1,05
15	0,73	1,58			

Trigonometrie

Trigonometrie des rechtwinkligen Dreiecks

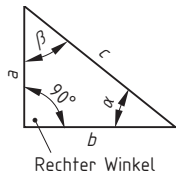
Begriffe:

Katheten: Seiten die den rechten Winkel bilden (a und b)

Hypotenuse: Seite, die dem rechten Winkel gegenüber liegt (längste Seite)

Ankathete: Seite, die am betrachteten spitzen Winkel anliegt

Gegenkathete: Seite, die dem betrachteten spitzen Winkel gegenüber liegt



Satz des Pythagoras

$$c^2 = a^2 + b^2$$

Winkelfunktionen

$$\sin \alpha = \frac{a}{c}$$

$$\text{Sinus} = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}}$$

$$\sin \beta = \frac{b}{c}$$

$$\cos \alpha = \frac{b}{c}$$

$$\text{Kosinus} = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Hypotenuse}}$$

$$\cos \beta = \frac{a}{c}$$

$$\tan \alpha = \frac{a}{b}$$

$$\text{Tangens} = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Gegenkathete}}$$

$$\tan \beta = \frac{b}{a}$$

$$\cot \alpha = \frac{b}{a}$$

$$\text{Kotangens} = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}}$$

$$\cot \beta = \frac{a}{b}$$

Umrechnungen

$$\cot \alpha = \frac{1}{\tan \alpha}$$

$$\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$$

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\sin^2 \alpha = (\sin \alpha)^2$$

Lineare Regression

Ausgleichsgerade

$$y = m \cdot x + b$$

Steigung der Regressionsgeraden

$$m = \frac{\bar{x} \cdot \bar{y} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{s_x^2}$$

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Ordinatenabschnitt der Regressionsgeraden

$$b = \bar{y} - m \cdot \bar{x}$$

m Steigung der Regressionsgeraden

b Ordinatenabschnitt der Regressionsgeraden

n Anzahl der Messwerte

s_x^2 Varianz der x -Werte

\bar{x} Arithmetischer Mittelwert aller Einzelwerte x_i

\bar{y} Arithmetischer Mittelwert aller Einzelwerte y_i

$\bar{x} \cdot \bar{y}$ Arithmetischer Mittelwert aller Produkte $x \cdot y$

Ableitung von Funktionen

Grundfunktion $y = f(x)$	Ableitungsfunktion $y' = f'(x)$
$y = a$	$y' = 0$
$y = a \cdot x$	$y' = a$
$y = a \cdot x^n$	$y' = n \cdot a \cdot x^{n-1}$
$y = e^x$	$y' = e^x$
$y = a^x$	$y' = a^x \cdot \ln a$
$y = \ln x$	$y' = 1/x$
$y = \sin x$	$y' = \cos x$
$y = \cos x$	$y' = -\sin x$
Regeln	
$f(x) = x^n$	$f'(x) = n \cdot x^{n-1}$
$f(x) = c \cdot u(x)$	$f'(x) = c \cdot u'(x)$
$f(x) = u(x) \pm v(x)$	$f'(x) = u'(x) \pm v'(x)$
$f(x) = u(x) \cdot v(x)$	$f'(x) = u'(x) \cdot v(x) + u(x) \cdot v'(x)$
$f(x) = \frac{u(x)}{v(x)}$	$f'(x) = \frac{u'(x) \cdot v(x) - u(x) \cdot v'(x)}{(v(x))^2}$

Setzt man die Ableitungsfunktion $y' = 0$ erhält man die x -Werte, bei denen die Grundfunktion ein Maximum oder Minimum besitzt. Leitet man y' nochmals ab (y'') und setzt $y'' = 0$, erhält man die x -Werte, bei denen die Grundfunktion einen Wendepunkt besitzt. Die zugehörigen y -Werte erhält man durch Einsetzen der gefundenen x -Werte in die Grundfunktion.

Flächenberechnung

A Fläche U Umfang l Länge l_B Bogenlänge
 l_m mittlere Länge b Breite h Höhe r Radius

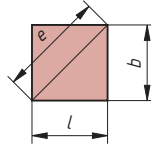
Quadrat

$l = b$

$A = l^2$

$U = 4 \cdot l$

$e = l \cdot \sqrt{2}$



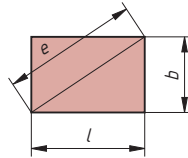
Rechteck

$l \neq b$

$A = l \cdot b$

$U = 2 \cdot (l + b)$

$e = \sqrt{l^2 + b^2}$

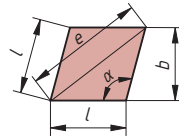


Raute (Rhombus)

$A = l \cdot b$

$U = 4 \cdot l$

$e = \sqrt{2 \cdot l^2 \cdot (1 - \cos \alpha)}$

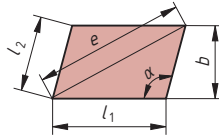


Rhomboid (Parallelogramm)

$A = l_1 \cdot b$

$U = 2 \cdot (l_1 + l_2)$

$e = \sqrt{l_1^2 + l_2^2 - 2 \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot \cos \alpha}$

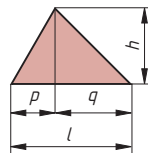


Dreieck

$A = \frac{l \cdot b}{2}$

U = Summe aller Seitenlängen

$h = \sqrt{p \cdot q}$ (bei rechtwinkligen Dreiecken)

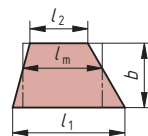


Trapez

$A = \frac{l_1 + l_2}{2} \cdot b$

$A = l_m \cdot b$

U = Summe aller Seitenlängen



e Eckenmaß (Diagonale) D, d Durchmesser
 s Dicke d_m mittlerer Durchmesser α Mittel-
 punktswinkel

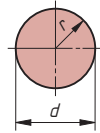
Kreis

$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$

$A = r^2 \cdot \pi$

$U = d \cdot \pi$

$U = 2 \cdot r \cdot \pi$



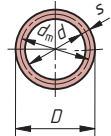
Kreisring

$A = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2)$

$d_m = \frac{D + d}{2}$

$A = \pi \cdot d_m \cdot s$

$d = D - 2 \cdot s$



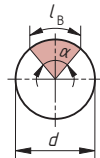
Kreisausschnitt (Kreisektor)

$A = \frac{l_B \cdot d}{4}$

$U = l_B + 2 \cdot r$

$A = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot \alpha}{4 \cdot 360^\circ}$

$l_B = \frac{\pi \cdot d \cdot \alpha}{360^\circ}$



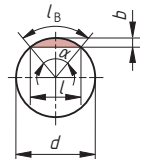
Kreisabschnitt

$A = \frac{l_B \cdot d - l \cdot (d - 2 \cdot b)}{4}$

$A \approx \frac{2}{3} \cdot l \cdot b$

$U = l_B + l$

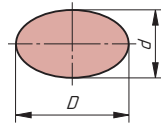
$l = d \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$



Ellipse

$A = \frac{D \cdot d \cdot \pi}{4}$

$U \approx \frac{\pi}{4} \cdot [3 \cdot (D + d) - 2 \cdot \sqrt{D \cdot d}]$



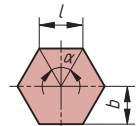
Regelmäßiges Vieleck

(n Anzahl der Ecken)

$A = \frac{l \cdot b}{2} \cdot n$

$U = l \cdot n$

$\alpha = \frac{360^\circ}{n}$



Körperberechnung

V Volumen A_O Oberfläche A_M Mantelfläche
 h Höhe l Länge b Breite D, d Durchmesser

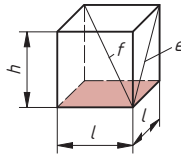
Würfel

$$V = l^3$$

$$A_O = 6 \cdot l^2$$

$$e = l \cdot \sqrt{2}$$

$$f = l \cdot \sqrt{3}$$



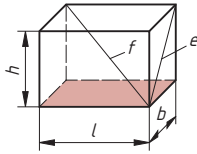
Quader

$$V = l \cdot b \cdot h$$

$$e = \sqrt{h^2 + b^2}$$

$$f = \sqrt{l^2 + b^2 + h^2}$$

$$A_O = 2 \cdot (l \cdot b + h \cdot b + h \cdot l)$$

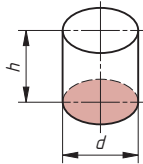


Zylinder

$$V = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot h$$

$$A_M = d \cdot \pi \cdot h$$

$$A_O = 2 \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} + d \cdot \pi \cdot h$$

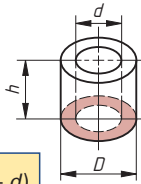


Hohlzylinder

$$V = \frac{\pi \cdot h}{4} \cdot (D^2 - d^2)$$

$$A_M = \pi \cdot h \cdot (D + d)$$

$$A_O = 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) + \pi \cdot h \cdot (D + d)$$



Pyramide

$$V = \frac{l \cdot b \cdot h}{3}$$

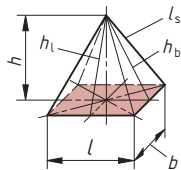
$$A_M = l \cdot h_l + b \cdot h_b$$

$$A_O = l \cdot b + l \cdot h_l + b \cdot h_b$$

$$h_b = \sqrt{h^2 + \frac{l^2}{4}}$$

$$h_l = \sqrt{h^2 + \frac{b^2}{4}}$$

$$l_s = \sqrt{h_b^2 + \frac{b^2}{4}}$$



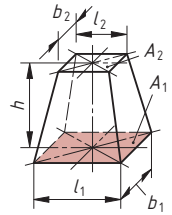
R, r Radius e Eckenmaß bzw. Flächendiagonale
 f Raumdiagonale S Schwerpunkt

Pyramidenstumpf

$$V = \frac{h}{3} \cdot (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2})$$

$$A_O = A_1 + A_2 + A_M$$

$$A_M = (l_1 + l_2) \cdot \sqrt{h^2 + \frac{(b_1 - b_2)^2}{4}} + (b_1 + b_2) \cdot \sqrt{h^2 + \frac{(l_1 - l_2)^2}{4}}$$



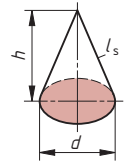
Kegel

$$V = \frac{d^2 \cdot \pi \cdot h}{12}$$

$$A_O = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} + \frac{d \cdot \pi \cdot l_s}{4}$$

$$A_M = \frac{d \cdot \pi \cdot l_s}{4}$$

$$l_s = \sqrt{l^2 + b^2 + h^2}$$



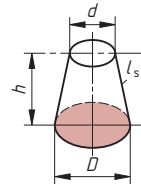
Kegelstumpf

$$V = \frac{\pi \cdot h}{12} \cdot (D^2 + d^2 + D \cdot d)$$

$$A_O = \pi \cdot \left(\frac{D^2 + d^2}{4} + l_s \cdot \frac{D + d}{2} \right)$$

$$A_M = \frac{D + d}{2} \cdot \pi \cdot l_s$$

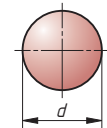
$$l_s = \sqrt{\frac{(D - d)^2}{4} + h^2}$$



Kugel

$$V = \frac{d^3 \cdot \pi}{6}$$

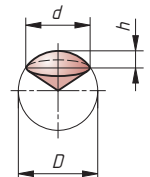
$$A_O = d^2 \cdot \pi$$



Kugelausschnitt (Kugelsektor)

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot h}{6}$$

$$A_O = \pi \cdot D \cdot h + \pi \cdot \frac{D \cdot d}{2}$$



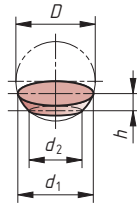
Körperberechnung (Fortsetzung)

Kugelschicht

$$V = \frac{\pi \cdot h}{24} \cdot (3 \cdot d_1^2 + 3 \cdot d_2^2 + 4 \cdot h^2)$$

$$A_O = \frac{\pi}{4} \cdot (4 \cdot D \cdot h + d_1^2 + d_2^2)$$

$$A_M = \pi \cdot D \cdot h$$



Kugelabschnitt (Kugelsegment)

$$V = \frac{h^2 \cdot \pi}{6} \cdot (3 \cdot D - 2 \cdot h)$$

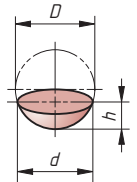
$$V = \frac{h \cdot \pi}{2} \cdot \left(\frac{d^2 + h^2}{4} + \frac{h^2}{3} \right)$$

$$A_O = \pi \cdot h \cdot (2 \cdot d - h)$$

$$A_M = D \cdot \pi \cdot h$$

$$A_M = \pi \cdot \left(\frac{d^2}{4} + h^2 \right)$$

$$A_M = 0,5 \cdot D \cdot \pi \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})$$



Keil

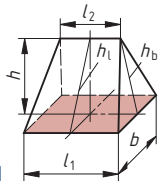
$$V = \frac{(2 \cdot l_1 + l_2) \cdot b \cdot h}{6}$$

$$A_M = (l_1 + l_2) \cdot h_1 + b \cdot h_b$$

$$A_O = l_1 \cdot b + (l_1 + l_2) \cdot h_1 + b \cdot h_b$$

$$h_b = \sqrt{h^2 + \frac{(l_1 + l_2)^2}{4}}$$

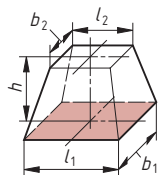
$$h_1 = \sqrt{h^2 + \frac{b^2}{4}}$$



Obelisk (abgeschnittener Keil)

$$V = \frac{h}{6} \cdot [l_1 \cdot b_1 + (l_1 + l_2) \cdot (b_1 + b_2) + l_2 \cdot b_2]$$

$$A_O = l_1 \cdot b_1 + l_2 \cdot b_2 + (l_1 + l_2) \cdot \sqrt{h^2 + \frac{(b_1 - b_2)^2}{4}} + (b_1 + b_2) \cdot \sqrt{h^2 + \frac{(l_1 - l_2)^2}{4}}$$

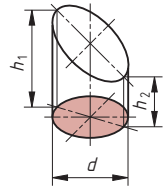


Schief abgeschnittener Kreiszylinder

$$V = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot (h_1 + h_2)}{8}$$

$$A_M = d \cdot \pi \cdot \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right)$$

$$A_O = \frac{\pi \cdot d}{2} \cdot \left(h_1 + h_2 + \frac{d}{2} + \sqrt{\frac{d^2 + (h_1 + h_2)^2}{2}} \right)$$

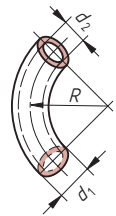


90°-Bogen

$$V = \frac{R \cdot \pi^2 \cdot (d_1^2 - d_2^2)}{8}$$

$$A_M = R \cdot \frac{\pi^2}{2} \cdot (d_1 + d_2)$$

$$A_O = \frac{\pi}{2} \cdot (d_1^2 + d_2^2) + R \cdot \frac{\pi^2}{2} \cdot (d_1 + d_2)$$



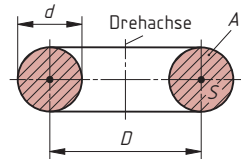
Innenvolumen (Füllvolumen)

$$V_i = \frac{d_2^2 \cdot R \cdot \pi^2}{8}$$

Ring mit Kreisquerschnitt

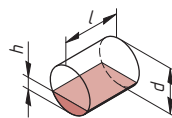
$$V = \frac{d^2 \cdot D \cdot \pi^2}{4}$$

$$A_O = d \cdot D \cdot \pi^2$$



Liegender Zylinder (Füllvolumen)

$$V = l \cdot \left[\frac{d^2}{4} \cdot \arcsin \left(\frac{d - 2 \cdot h}{d} \right) - \left(\frac{d}{2} - h \right) \cdot \sqrt{d \cdot h - h^2} \right]$$

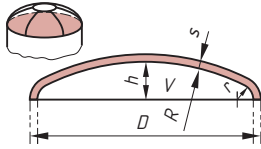


Volumeninhalt, äußere Oberfläche und Füllhöhe wichtiger Behälterböden

Klöpferboden

$R = D$

$r = 0,1 \cdot D$



Inhalt der Wölbung
(ohne Zylinderbord)

$V = 0,1 \cdot (D - 2 \cdot s)^3$

Äußere Oberfläche
(ohne Zylinderbord)

$A_0 = 0,99 \cdot D^2$

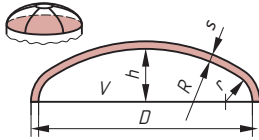
Innenhöhe (Füllhöhe)

$h = 0,1935 \cdot D - 0,445 \cdot s$

Korbbojenboden

$R = 0,8 \cdot D$

$r = 0,154 \cdot D$



Inhalt der Wölbung
(ohne Zylinderbord)

$V = 0,1298 \cdot (D - 2 \cdot s)^3$

Äußere Oberfläche
(ohne Zylinderbord)

$A_0 = 1,08 \cdot D^2$

Innenhöhe (Füllhöhe)

$h = 0,255 \cdot D - 0,635 \cdot s$

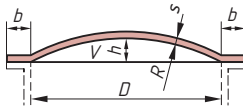
Tellerboden

$R = 1,1 \cdot D$ bis $1,4 \cdot D$



Inhalt der Wölbung

$V = \frac{\pi \cdot h}{2} \cdot \left(\frac{D^2}{4} + \frac{h^2}{3} \right)$



Äußere Oberfläche

$A_0 = \pi \cdot \left(\frac{D^2}{4} + h^2 \right) + \frac{\pi}{4} \cdot \left[(D + 2 \cdot b)^2 - D^2 \right]$

Zinsrechnung/Kostenrechnung

- k_n Kapital bzw. Kosten nach n Jahren
- k_0 Kapital vor der Verzinsung bzw. aufgenommene Kreditsumme
- p Zinssatz (Zinsfuß)
- n Anzahl der Jahre bzw. Anzahl der Zinsabschnitte (Halbjahre, Vierteljahre usw.)
- m Anzahl der Monate
- t Anzahl der Tage
- q Aufzinsfaktor
- z_n Zinsen nach n Jahren bzw. Verzinsungen
- z_m Zinsen nach m Monaten
- z_t Zinsen nach t Tagen
- e Basis der natürlichen Logarithmen (eulersche Zahl, $e = 2,718\ 281\ 82\dots$)
- δ Wachstumsintensität

Einfache Verzinsung bei einmaliger Einzahlung bzw. Kreditnahme

Kapital (einschließlich Zinsen) nach n Jahren

$k_n = k_0 \cdot \left(1 + \frac{p \cdot n}{100} \right)$

Zinsen nach n Jahren

$z_n = k_0 \cdot \frac{p \cdot n}{100}$

Zinsen nach m Monaten

$z_n = k_0 \cdot \frac{p \cdot m}{100 \cdot 12}$

Zinsen nach t Tagen

$z_n = k_0 \cdot \frac{p \cdot t}{100 \cdot 365}$

Zinseszins-Rechnung

1 Zinszuschlag pro Jahr

$k_n = k_0 \cdot \left(1 + \frac{p}{100} \right)^n$

$k_n = k_0 \cdot q^n$

$q = 1 + \frac{p}{100}$

Anzahl der Jahre bis zum Erreichen eines Kapitals k_n

$n = \frac{\lg k_n - \lg k_0}{\lg q}$

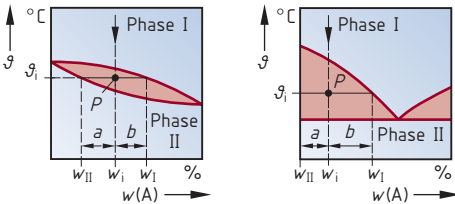
m Zinszuschläge pro Jahr

$k_n = k_0 \cdot \left(1 + \frac{p}{100 \cdot m} \right)^{m \cdot n}$

Stetige Verzinsung

Hebelgesetz und gibbsches Phasengesetz

Hebelgesetz (Anteile der Phasen im Zweiphasengebiet von Zustandsdiagrammen)



$$m_{\text{I}} = \frac{a}{a+b} \cdot m \quad m_{\text{II}} = \frac{b}{a+b} \cdot m \quad m_{\text{II}} = \frac{b}{m_{\text{I}}} \cdot a$$

Gibbssches Phasengesetz

Ohne Berücksichtigung der Gas- bzw. Dampfphase

Mit Berücksichtigung der Gas- bzw. Dampfphase

$$f = n - p + 1 \quad f = n - p + 2$$

f Freiheitsgrade (Änderungsmöglichkeiten der Zustandsgrößen Temperatur, Druck oder Konzentration eines Systems aus n Komponenten)

n Anzahl der Komponenten des Systems (Anzahl der beteiligten Stoffe)

p Anzahl der Phasen (homogene Stoffbereiche, z. B. gasförmige, flüssige und feste Phasen). In einem System können mehrere flüssige und feste Phasen nebeneinander existieren, z. B. zwei nicht mischbare Flüssigkeiten.

Zusammensetzung von Mischphasen

Massenanteil des Stoffes i

$$w_i = \frac{m_i}{m} \quad m_i \text{ Masse des Stoffes } i \text{ in der Mischphase} \\ m \text{ Gesamtmasse der Mischphase } (m_1 + m_2 + \dots + m_n)$$

Massenverhältnis der Stoffe i und k

$$\zeta_{\text{ik}} = \frac{m_i}{m_k} \quad m_i \text{ Masse des Stoffes } i \text{ in der Mischphase} \\ m_k \text{ Masse des Stoffes } k \text{ in der Mischphase}$$

Volumenanteil des Stoffes i

$$\varphi_i = \frac{V_i}{V} \quad V_i \text{ Volumen des Stoffes } i \text{ vor dem Mischen} \\ V \text{ Gesamtvolumen der Mischphase } (V_1 + V_2 + \dots + V_n)$$

Volumenverhältnis der Stoffe i und k

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

Stoffmengenanteil des Stoffes i

$$x_i = \frac{n_i}{n} \quad n_i \text{ Stoffmenge des Stoffes } i \text{ in der Mischphase} \\ n \text{ Gesamtstoffmenge der Mischphase } (n_1 + n_2 + \dots + n_n)$$

Stoffmengenverhältnis der Stoffe i und k

$$r_{\text{ik}} = \frac{n_i}{n_k} \quad n_i \text{ Stoffmenge des Stoffes } i \text{ in der Mischphase} \\ n_k \text{ Stoffmenge des Stoffes } k \text{ in der Mischphase}$$

Massenkonzentration des Stoffes i

$$\varrho_i = \frac{m_i}{V} \quad m_i \text{ Masse des Stoffes } i \text{ in der Mischphase} \\ V \text{ Gesamtvolumen der Mischphase } (V_1 + V_2 + \dots + V_n)$$

Stoffmengenkonzentration des Stoffes i

$$c_i = \frac{n_i}{V} \quad n_i \text{ Stoffmenge des Stoffes } i \text{ in der Mischphase} \\ V \text{ Gesamtvolumen der Mischphase } (V_1 + V_2 + \dots + V_n)$$

Volumenkonzentration des Stoffes i

$$\sigma_i = \frac{V_i}{V} \quad V_i \text{ Volumen des Stoffes } i \text{ in der Mischphase} \\ V \text{ Gesamtvolumen der Mischphase } (V_1 + V_2 + \dots + V_n)$$

Molalität des Stoffes i

$$b_i = \frac{n_i}{m_k} \quad n_i \text{ Stoffmenge des Stoffes } i \text{ in der Mischphase} \\ m_k \text{ Masse des Stoffes } k \text{ (Lösungsmittel) in der Mischphase}$$

Äquivalentkonzentration des Stoffes i

$$c_i(\text{eq}) = \frac{n_i(\text{eq})}{V} \quad n_i(\text{eq}) \text{ Äquivalent-Stoffmenge des Stoffes } i \text{ in der Mischphase} \\ V \text{ Gesamtvolumen der Mischphase } (V_1 + V_2 + \dots + V_n)$$

Zusammensetzung von Mischphasen (Fortsetzung)

Umrechnung Massenanteil/Stoffmengenanteil

$$w_i = \frac{x_i \cdot M_i}{x_i \cdot M_i + x_k \cdot M_k + \dots + x_n \cdot M_n}$$

$$x_i = \frac{w_i}{M_i \cdot (w_i/M_i + w_k/M_k + \dots + w_n/M_n)}$$

Umrechnung Massenanteil/Volumenanteil

$$w_i = \frac{\varphi_i \cdot \rho_i}{\rho}$$

$$\varphi_i = \frac{w_i \cdot \rho}{\rho_i}$$

Umrechnung Massenanteil/Stoffmengenkonzentration

$$w_i = \frac{c_i \cdot M_i}{1000 \cdot \rho}$$

$$c_i = \frac{1000 \cdot w_i \cdot \rho}{M_i}$$

Umrechnung Massenanteil/Massenverhältnis

$$\xi_{ik} = \frac{w_i}{1 - w_i}$$

$$w_i = \frac{\xi_{ik}}{1 + \xi_{ik}}$$

Umrechnung Massenanteil/Massenkonzentration

$$w_i = \frac{\rho_i}{1000 \cdot \rho}$$

$$\rho_i = 1000 \cdot w_i \cdot \rho$$

Umrechnung Massenanteil/Volumenkonzentration

$$w_i = \frac{\sigma_i \cdot \rho_i}{\rho}$$

$$\sigma_i = \frac{w_i \cdot \rho}{\rho_i}$$

Umrechnung Massenkonzentration/Stoffmengenkonzentration

$$\rho_i = c_i \cdot M_i$$

$$c_i = \frac{\rho_i}{M_i}$$

Volumenanteil/Volumenkonzentration

Wenn beim Mischvorgang keine Volumenänderung eintritt gilt

$$\varphi = \sigma$$

w_i	Massenanteil des Stoffes i	1 oder %
x_i	Stoffmengenanteil des Stoffes i	1 oder %
φ_i	Volumenanteil des Stoffes i	1 oder %
c_i	Stoffmengenkonzentration des Stoffes i	mol/L
ρ_i	Massenkonzentration des Stoffes i	g/L
σ_i	Volumenkonzentration des Stoffes i	1 bzw. L/L
ρ	Dichte der Mischphase	g/cm ³
ρ_i	Dichte des Stoffes i	g/cm ³
M_i	Molare Masse des Stoffes i	g/mol

Indizes:
i, k, n Stoff i, k, n

Mischungsgleichung für Lösungen und andere Mischphasen

w	Massenanteil	1 oder %
m	Masse	kg

Indizes:

1, 2, n Stoff 1, 2, n

M Mischung

Mischung von n Lösungen die zu einer neuen vereinigt werden

$$m_1 \cdot w_1 + m_2 \cdot w_2 + \dots + m_n \cdot w_n = (m_1 + m_2 + \dots + m_n) \cdot w_M$$

Mischung von 2 Lösungen die zu einer neuen vereinigt werden

$$m_1 \cdot w_1 + m_2 \cdot w_2 = (m_1 + m_2) \cdot w_M$$

Verdünnen einer Lösung mit m_2 an reinem Lösemittel

$$m_1 \cdot w_1 = (m_1 + m_2) \cdot w_M$$

Zusatz einer Masse m_2 an reinem Stoff ($w_2 = 1$), der bereits zu einem Anteil w_1 in der Lösung vorliegt

$$m_1 \cdot w_1 + m_2 = (m_1 + m_2) \cdot w_M$$

Aufkonzentrierung durch Abdampfen der Masse m_2 an reinem Lösemittel ($w_2 = 0$)

$$m_1 \cdot w_1 = (m_1 - m_2) \cdot w_M$$

Herstellen von Maßlösungen

Maßlösung aus Reinstoff und Lösemittel

$$m(X) = c(X) \cdot V \cdot M(X)$$

Maßlösung aus einer Lösung durch Zugabe von Lösemittel

$$m = \frac{c(X) \cdot V \cdot M(X)}{w(X)}$$

Maßlösung aus Maßlösung höherer Konzentration durch Zusatz von Lösemittel

$$V_1 = \frac{c_2(X) \cdot V_2}{c_1(X)}$$

Maßlösung aus einem nicht chemisch reinen Stoff und Lösemittel

$$m(X) = \frac{c(X) \cdot V \cdot M(X)}{w(X)}$$

Maßlösungen mit Äquivalentkonzentration

Soll eine Maßlösung mit der Äquivalentkonzentration $c(\text{eq})$ bzw. $c(1/z^*X)$ hergestellt werden, gelten die gleichen Formeln wie für die Herstellung von Lösungen mit der Stoffmengenkonzentration $c(X)$. In den Formeln wird dann lediglich $c(X)$ durch $c(1/z^*X)$ und $M(X)$ durch $M(1/z^*X)$ ersetzt.

Titer einer Maßlösung

$$c(X) = \tilde{c}(X) \cdot t$$

$$c\left(\frac{1}{z^*}X\right) = \tilde{c}\left(\frac{1}{z^*}X\right) \cdot t$$

Herstellen gesättigter Lösungen, Löslichkeit

Löslichkeit des Stoffes X in einem Lösemittel bei gegebener Temperatur ϑ

Eine Lösung kann als gesättigt (mit maximaler Menge an gelöstem Stoff) angenommen werden, wenn die Lösung mit einem Bodenkörper (Bodensatz) im Gleichgewicht steht, d.h. die Menge des Bodenkörpers sich trotz Durchmischung oder langer Kontaktzeit nicht mehr ändert.

$$L^*(X, \vartheta) = \frac{m(X, \text{max})}{m(\text{Lm})} = \frac{m(\text{max. gelöster Stoff})}{100 \text{ g Lösemittel}}$$

Umrechnung Massenanteil/Löslichkeit

$$L^*(X) = \frac{100 \cdot w(X)}{1 - w(X)}$$

$$w(X) = \frac{L^*(X)}{100 + L^*(X)}$$

$m(X)$	Masse des gelösten Stoffes X mit der molaren Masse $M(X)$ im Volumen V einer Maßlösung der Stoffmengenkonzentration $c(X)$ – (diese Masse muss zur Herstellung der entsprechenden Maßlösung mit $c(X)$ eingewogen und auf das Volumen V aufgefüllt werden)	g
$c(X)$	(Gewünschte) Stoffmengenkonzentration des gelösten Stoffes X	mol/L
$c_1(X)$	Stoffmengenkonzentration einer Maßlösung, die durch Zusatz von Lösemittel auf $c_2(X)$ verdünnt werden soll	mol/L
$c_2(X)$	Gewünschte Stoffmengenkonzentration einer Maßlösung, die durch Zusatz von Lösemittel zu einer anderen Maßlösung mit $c_1(X)$ erhalten werden soll	mol/L
V	Volumen an Maßlösung	L
V_1	Volumen Maßlösung mit $c_1(X)$, das durch Auffüllen mit Lösemittel auf das Volumen V_2 gebracht werden muss, um die Stoffmengenkonzentration $c_2(X)$ zu erhalten	L
V_2	Volumen, auf das mit reinem Lösemittel aufgefüllt werden muss, um die Stoffmengenkonzentration $c_2(X)$ zu erhalten	L
$M(X)$	Molare Masse des gelösten bzw. zu lösenden Stoffes X	g/mol
m	Masse Lösung mit dem Massenanteil $w(X)$, die auf das Volumen V aufgefüllt werden muss um die gewünschte Stoffmengenkonzentration $c(X)$ zu erhalten	g
$w(X)$	Massenanteil gelöster Stoff	1
t	Titer einer Maßlösung	1
$\tilde{c}(X)$	Angenäherte Stoffmengenkonzentration mit der die Maßlösung gekennzeichnet ist und die mit dem Titer multipliziert werden muss, um die genaue Konzentration zu erhalten	mol/L
$\tilde{c}\left(\frac{1}{z^*}X\right)$	Äquivalentkonzentration	mol/L
z^*	Äquivalenzahl (Betrag der Ladungszahl eines Ions, Änderung der Oxidationsstufe bei einer Redoxreaktion oder Anzahl der H^+ - oder OH^- -Ionen, die das Teilchen bei einer Neutralisation austauscht)	
ϑ	Temperatur	°C
$L^*(X)$	Löslichkeit des Stoffes X	g/g
$m(X, \text{max})$	Maximal lösbare Masse des Stoffes X im Lösemittel	g
$m(\text{Lm})$	Masse Lösemittel	g
$w(X)$	Massenanteil des Stoffes X in der Lösung	1

Dichte

Umrechnungen gängiger Dichteeinheiten

$$1 \text{ kg/m}^3 = 10^{-3} \text{ g/cm}^3 = 10^{-3} \text{ g/mL} = 10^{-3} \text{ kg/dm}^3$$

$$1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ g/mL} = 1 \text{ kg/dm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Definitionsgleichung

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Beziehungen für die Dichte einer Flüssigkeit

$$\rho_F = \frac{F_A}{V_V \cdot g}$$

$$\rho_F = \frac{F_g - F_{gl}}{V_V \cdot g}$$

$$\rho_K = \frac{\rho_F \cdot F_g}{F_g - F_{gl}}$$

Porosität bei Feststoffen und Feststoffschüttungen (Dichte des Gases in den Hohlräumen nicht berücksichtigt)

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_R}{\rho_s}\right) \cdot 100$$

$$V_{\text{Hohl}} = V - \frac{m}{\rho_s}$$

Temperaturabhängigkeit der Dichte

$$\rho_2 = \frac{\rho_1}{1 + \gamma \cdot \Delta\vartheta}$$

Dichtebestimmung mit dem Pyknometer

Dichte von Flüssigkeiten

$$\rho_F = \frac{m_{P+F} - m_P}{V}$$

Dichte von Feststoffen

$$\rho_K = \frac{(m_3 - m_1) \cdot \rho_F}{m_3 - m_1 + m_2 - m_4}$$

ρ	Dichte (Massivdichte, spezifische Dichte)	kg/m ³
m	Masse	kg
V	Volumen (Gesamtvolumen)	m ³
ρ_F	Flüssigkeitsdichte	kg/m ³
ρ_K	Dichte eines in Flüssigkeit eintauchenden Körpers oder eines Feststoffes in einem Pyknometer	kg/m ³
F_A	Auftriebskraft	N
F_g	Gewichtskraft eines Körpers in Luft	N
F_{gl}	Gewichtskraft eines Körpers in einer Flüssigkeit	N
V_V	Eintauchvolumen eines Körpers (Verdrängungsvolumen)	m ³
g	Fallbeschleunigung	m/s ²
ε	Porosität	%
ρ_R	Rohdichte (Volumen mit Hohlräumen)	kg/m ³
ρ_s	Massivdichte (spezifische Dichte) des Feststoffs	kg/m ³
V_{Hohl}	Hohlraumvolumen (bei Schüttungen Hohlräume in und zwischen den Schüttkörpern)	m ³
m	Masse	kg
V	Volumen	m ³
ρ_2	Dichte bei höherer Temperatur	kg/m ³
ρ_1	Dichte bei niedrigerer Temperatur	kg/m ³
γ	Volumenausdehnungskoeffizient	1/K, 1/°C
$\Delta\vartheta$	Temperaturdifferenz	K, °C
m_P	Masse des Pyknometers	g
m_{P+F}	Masse des Pyknometers mit der Flüssigkeit gefüllt	g
m_1	Masse des Pyknometers, leer (Tara)	g
m_2	Masse des Pyknometers, mit Flüssigkeit vollständig gefüllt	g
m_3	Masse des Pyknometers, zum Teil mit dem zu bestimmenden Feststoff gefüllt	g
m_4	Masse des Pyknometers, zum Teil mit dem zu bestimmenden Feststoff gefüllt und mit der Flüssigkeit vollständig aufgefüllt	g
V	Pyknometervolumen	cm ³
ρ_F	Dichte der Flüssigkeit	g/cm ³
ρ_K	Dichte des Feststoffs	g/cm ³

Dichte (Fortsetzung)

Dichte von Stoffgemischen bei Flüssigkeiten

$$\rho_M = \frac{\rho_1 \cdot V_1 + \rho_2 \cdot V_2 + \rho_3 \cdot V_3 + \dots + \rho_n \cdot V_n}{V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n}$$

Zweistoffgemisch bei Flüssigkeiten

$$\rho_M = \frac{\rho_1 \cdot V_1 + \rho_2 \cdot V_2}{V_1 + V_2}$$

Dichte von Gasen in Abhängigkeit von Druck und Temperatur (Näherungsgleichung für trockene Gase und für den Nahbereich)

$$\rho_2 = \rho_1 \cdot \frac{p_2 \cdot T_1}{T_2 \cdot p_1}$$

ρ_M	Mittlere Dichte eines Stoffgemisches	kg/m ³
ρ	Dichte einer reinen Flüssigkeit	kg/m ³
V	Volumen einer reinen Flüssigkeit	m ³

Indizes:

1, 2, 3, ..., n Flüssigkeit 1, 2, 3, ..., n

ρ_1	Dichte eines Gases vor der Zustandsänderung	kg/m ³
ρ_1	Dichte eines Gases nach der Zustandsänderung	kg/m ³
p_1	Druck vor der Zustandsänderung	Pa
p_2	Druck nach der Zustandsänderung	Pa
T_1	Temperatur vor der Zustandsänderung	K
T_2	Temperatur nach der Zustandsänderung	K

Volumen und Masse

Volumenberechnung aus Masse und Dichte

$$V = \frac{m}{\rho}$$

Temperaturabhängigkeit des Volumens

$$V_\vartheta = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta\vartheta)$$

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\vartheta$$

Porosität

$$\varepsilon = \frac{V - V_S}{V}$$

Porosität bei gasgefülltem Hohlraum

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{\text{Schütt}}}{\rho_S}$$

Porosität bei flüssigkeitsgefülltem Hohlraum

$$\varepsilon = \frac{\rho_S - \rho_{\text{Schütt}}}{\rho_S - \rho_L}$$

V	Volumen	m ³
m	Masse	kg
ρ	Dichte	kg/m ³
V_0	Volumen vor der Temperaturänderung	m ³
V_ϑ	Volumen nach der Temperaturänderung	m ³
ΔV	Volumenänderung bei Temperaturänderung	m ³
γ	Volumenausdehnungskoeffizient	1/K, 1/°C
$\Delta\vartheta$	Temperaturänderung	K, °C
ε	Porosität	1
V_S	Massives Volumen (Feststoff)	m ³
ρ_S	Dichte des Feststoffes (Stoffeigenschaft)	kg/m ³
ρ_L	Dichte der Flüssigkeit in den Poren (Stoffeigenschaft)	kg/m ³
$\rho_{\text{Schütt}}$	Schüttdichte	kg/m ³

Geschwindigkeit

Gleichförmig geradlinige Bewegung und mittlere Geschwindigkeit in einem strömenden Fluid

Konstante Geschwindigkeit

$$v = \frac{s}{t}$$

$$t = \frac{s}{v}$$

$$s = v \cdot t$$

Strömungsgeschwindigkeit (Durchflussgleichung)

$$v = \frac{q_V}{A}$$

$$q_V = A \cdot v$$

Kontinuitätsgleichung

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

Strömungsgeschwindigkeit in einer Rohrleitung mit kreisrundem Querschnitt

$$v = \frac{q_V \cdot 4}{d^2 \cdot \pi}$$

$$q_V = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot v$$

Erforderlicher Rohrdurchmesser

bei gegebenem Volumenstrom und gegebener Strömungsgeschwindigkeit

$$d = \sqrt{\frac{q_V \cdot 4}{v \cdot \pi}}$$

Umfangsgeschwindigkeit (Umlaufgeschwindigkeit) eines Massepunktes (eines Körpers) auf einer Kreisbahn

$$v = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n$$

v	(Konstante) Geschwindigkeit	m/s
s	Weg (in der Zeit t zurückgelegte Strecke)	m
t	Zeit, die für den Weg benötigt wird	s
A	Querschnittsfläche (Strömungsquerschnitt)	m ²
q_V	Volumenstrom	m ³ /s
d	Rohrleitungsdurchmesser	m
r	Radius der Kreisbahn	m
n	Drehzahl (Umdrehungsfrequenz)	1/s
Index 1: Stelle (Ort) 1		
Index 2: Stelle (Ort) 2		

Beschleunigung

Gleichmäßig beschleunigte Bewegung aus der Ruhelage

Gleichmäßige bzw. mittlere Beschleunigung

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$a = \frac{v - v_0}{\Delta t}$$

$$a = \frac{v^2}{2 \cdot s}$$

Zurückgelegter Weg bei gleichmäßiger bzw. mittlerer Beschleunigung

$$s = \frac{a}{2} \cdot t^2$$

$$s = \frac{v^2}{2 \cdot a}$$

$$s = \frac{v \cdot t}{2}$$

Erreichte Endgeschwindigkeit bei gleichmäßiger bzw. mittlerer Beschleunigung

$$v = a \cdot t$$

$$v = \sqrt{2 \cdot a \cdot s}$$

$$v = \frac{2 \cdot s}{t}$$

a	Gleichmäßige bzw. mittlere Beschleunigung	m/s ²
Δv	Geschwindigkeitsänderung in der Zeitdifferenz Δt	m/s
$t, \Delta t$	Beschleunigungszeit	s
v_0	Anfangsgeschwindigkeit	m/s
v	Erreichte Endgeschwindigkeit nach der Beschleunigung	m/s
s	Weg (zurückgelegter Weg während der Beschleunigungszeit)	m

Beschleunigung (Fortsetzung)

Freier Fall aus der Ruhelage

(ohne Berücksichtigung des Luft- bzw. Strömungswiderstandes)

$$h = \frac{g}{2} \cdot t^2$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Mittlere Geschwindigkeit

bei gleichmäßig beschleunigter Bewegung

$$v = \frac{v - v_0}{2}$$

Endgeschwindigkeit

nach einer gleichmäßigen Beschleunigung mit der Anfangsgeschwindigkeit v_0

$$v = v_0 + a \cdot t$$

Mittlere Beschleunigung

bzw. gleichmäßig beschleunigte Bewegung von einer Anfangsgeschwindigkeit aus

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

$$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2 \cdot t}$$

$$v = a \cdot t + v_0$$

Zurückgelegter Weg

bei der gleichmäßigen Beschleunigung von einer Anfangsgeschwindigkeit aus

$$s = v_0 \cdot t + \frac{a}{2} \cdot t^2$$

$$s = v_m \cdot t$$

$$s = \frac{v_0 + v}{2} \cdot t$$

Radialbeschleunigung

(z. B. Zentrifugalbeschleunigung in Zyklonen zur Abscheidung von Feststoffteilchen aus Gasen oder Flüssigkeiten)

$$a = \frac{v_r^2}{r}$$

Näherungsweise Beschleunigung

von Feststoffteilchen infolge der Zentrifugalkraft in Vollmantelzentrifugen

$$a = 4 \cdot r \cdot \pi^2 \cdot n^2$$

v	Geschwindigkeit, Endgeschwindigkeit	m/s
v_0	Anfangsgeschwindigkeit	m/s
v_m	Mittlere Geschwindigkeit	m/s
g	Fallbeschleunigung	m/s ²
h	Fallhöhe	m
s	zurückgelegter Weg, Strecke	m
t	für den Weg benötigte Zeit Beschleunigungsdauer	s
a	gleichmäßige Beschleunigung	m/s ²

v_r	Randgeschwindigkeit des Gases bzw. der Flüssigkeit im Zyklon	m/s
r	Radius der Umlaufbahn eines Feststoffteilchens	m
n	Drehzahl (Umdrehungsfrequenz)	1/s
a	Radialbeschleunigung	m/s ²