



BASISWISSEN
MINT

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

$$p = \frac{F}{A}$$

Formelsammlung

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

Mathematik ■ Physik ■ Chemie ■ Technik

$$\dot{V} = A \cdot v$$

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Inhaltsverzeichnis

So arbeitest du mit der Formelsammlung	1
1 Mathematische Grundlagen	2
1.1 Geometrie: Umfang und Fläche	2
1.2 Geometrie: Volumen	3
1.3 Geometrie: Oberfläche	4
1.4 Diagramme und Messwerte	4
2 Mechanik	5
2.1 Dichte	5
2.2 Kinematik	5
2.3 Kraft	5
2.4 Arbeit und Leistung	6
2.5 Wirkungsgrad	7
2.6 Druck	7
2.7 Kraft- und Druckwandler	8
2.8 Auftrieb	9
2.9 Zerkleinern	9
3 Wärme und Temperatur	9
3.1 Temperatur	9
3.2 Längenausdehnung	10
3.3 Volumenausdehnung	10
3.4 Wärmemenge	11
4 Strömungslehre	12
4.1 Volumenstrom und Massenstrom	12
4.2 Kontinuitätsgleichung	13
4.3 Gesetz von Bernoulli	13
5 Elektrik	14
5.1 Ohmsches Gesetz	14
5.2 Schaltung von Widerständen	15
6 Messtechnik	16
6.1 Messbereich und Messabweichung	16
6.2 Einheitssignal	16
6.3 Füllstandmessung	17
7 Stoffmenge, molare Masse und Gase	17
7.1 Atombau	17
7.2 Stoffmenge und molare Masse	17
7.3 Ideale Gase	18
8 Lösungen und Gemische	20
8.1 Gehaltsgrößen	20
8.2 Umrechnung von Gehaltsgrößen	20
8.3 Mischungsrechnen	21
8.4 Löslichkeit	22
9 Chemische Reaktionen	23
9.1 Stoffmengenverhältnis	23
9.2 Umsatz und Ausbeute	23
9.3 Titration (Maßanalyse)	24
Stichwortverzeichnis	25

So arbeitest du mit der Formelsammlung

Diese Formelsammlung enthält die wichtigsten Gleichungen aus Chemie, Physik, Mathematik und Chemietechnik wie sie in Ausbildungsberufen mit chemischem Schwerpunkt gebraucht werden. Sie wird in Zukunft noch weiter ausgebaut. Die Formelsammlung ist nach Kapiteln und Unterkapiteln geordnet. Über das Inhaltsverzeichnis findest du ein Themengebiet, über das **Stichwortverzeichnis** am Ende die entsprechende Formel.

Aufbau eines Eintrags

Jeder Eintrag hat drei Spalten: links die **Gleichung**, oft zusätzlich in umgestellter Form, in der Mitte jedes **Größenzeichen mit seiner Bedeutung**, rechts die **SI-Einheit**. Bei Einheiten wie N, J oder W zusätzlich, woraus sie sich zusammensetzen. Ein grauer Hinweis unter dem Eintrag nennt, wann die Formel gilt oder wie sie hergeleitet wird.

Gleichung	Größe und Bedeutung		Einheit
Geschwindigkeit			
$v = \frac{s}{t}$	v	Geschwindigkeit	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$
	s	Weg (Strecke)	m
	t	Zeit	s

Hier stehen Gültigkeitsbedingungen und Herleitungen.

Schreibweisen

- **Eckige Klammern** um ein Größenzeichen bedeuten „**Einheit der Größe**“: $[m] = \text{kg}$ liest sich „Die Einheit der Masse m ist das Kilogramm.“
- **Kursiv und aufrecht**: Größenzeichen werden immer *kursiv* gesetzt (z. B. m , t), Einheiten aufrecht (z. B. m, t).
- **Größen ohne Einheit**: Ein Strich (–) in der Einheitenspalte bedeutet: Die Größe ist ein Verhältnis oder eine Anzahl und hat keine Einheit. Anteile werden oft in Prozent angegeben ($0,85 = 85\%$).
- **Stoffangaben in Klammern**: $c(X)$, $M(X)$ oder $w(X)$ bezeichnen die Größe für den Stoff X , z. B. $M(\text{H}_2\text{O})$ für die molare Masse von Wasser.
- **Indizes** unterscheiden Zustände oder Stellen: 1 = vorher bzw. Stelle 1, 2 = nachher bzw. Stelle 2, 0 = Ausgangswert, *ges* = gesamt.

Tipps zum Rechnen

- Formel zuerst nach der gesuchten Größe umstellen, erst danach Zahlen einsetzen.
- Alle Angaben vorher in passende Einheiten umrechnen – am sichersten in SI-Einheiten. Temperaturen (fast) immer in Kelvin einsetzen.
- Einheiten in jeder Zeile mitschreiben: Stimmt die Einheit des Ergebnisses, ist das ein guter Hinweis auf einen richtigen Rechenweg.

1 Mathematische Grundlagen

1.1 Geometrie: Umfang und Fläche

Gleichung	Größe und Bedeutung	Einheit
Umfang von Rechteck und Quadrat		
$U_R = 2 \cdot (a + b)$	U_R, U_Q Umfang von Rechteck bzw. Quadrat	m
$U_Q = 4 \cdot a$	a, b Seitenlängen	m
Umfang des Dreiecks		
$U_D = a + b + c$	U_D Umfang	m
	a, b, c Seitenlängen	m
Umfang des Kreises		
$U_K = \pi \cdot d$	U_K Umfang des Kreises	m
	d Durchmesser	m
$U_K = 2 \cdot \pi \cdot r$	r Radius, $r = d/2$	m
Fläche von Rechteck und Quadrat		
$A_R = a \cdot b$	A_R, A_Q Fläche von Rechteck bzw. Quadrat	m ²
$A_Q = a^2$	a, b Seitenlängen	m
Fläche des Dreiecks		
$A_D = \frac{c \cdot h_c}{2}$	A_D Fläche	m ²
	c Grundseite	m
$A_D = \frac{a \cdot b}{2}$	h_c Höhe auf die Grundseite c	m
	a, b Katheten des rechtwinkligen Dreiecks	m
Die zweite Gleichung gilt nur für das rechtwinklige Dreieck.		
Fläche des Kreises		
$A_K = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$	A_K Kreisfläche	m ²
	d Durchmesser	m
$A_K = \pi \cdot r^2$	r Radius, $r = d/2$	m
Fläche des Kreisrings (Rohrquerschnitt, Dichtung)		
$A = \frac{\pi}{4} \cdot (d_a^2 - d_i^2)$	A Fläche des Kreisrings	m ²
	d_a, d_i Außen- bzw. Innendurchmesser	m
$d_i = d_a - 2 \cdot s$	s Wandstärke	m

1.2 Geometrie: Volumen

Gleichung	Größe und Bedeutung	Einheit
Volumen von Prisma und Zylinder		
$V_P = A_G \cdot h$	V_P Volumen eines Prismas (Körper mit gleichbleibendem Querschnitt)	m^3
$V_Z = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h$	V_Z Volumen eines Zylinders	m^3
$V_Z = \pi \cdot r^2 \cdot h$	A_G Grundfläche	m^2
	h Höhe	m
	d, r Durchmesser bzw. Radius des Zylinders	m
Volumen von Quader und Würfel		
$V_Q = l \cdot b \cdot h$	V_Q, V_W Volumen von Quader bzw. Würfel	m^3
$V_W = a^3$	l, b, h Länge, Breite, Höhe des Quaders	m
	a Kantenlänge des Würfels	m
Volumen der Kugel		
$V_{Ku} = \frac{\pi \cdot d^3}{6}$	V_{Ku} Volumen der Kugel	m^3
$V_{Ku} = \frac{4 \cdot \pi \cdot r^3}{3}$	d, r Durchmesser bzw. Radius	m
Volumen des Kegels		
$V_{Ke} = \frac{1}{3} \cdot A_G \cdot h$	V_{Ke} Volumen des Kegels	m^3
$V_{Ke} = \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h$	A_G Grundfläche	m^2
	d Durchmesser der Grundfläche	m
	h Höhe des Kegels	m
Volumen eines Kugelabschnitts (gewölbter Behälterboden)		
$V_B = \frac{\pi}{6} \cdot h \cdot \left(\frac{3}{4} \cdot d^2 + h^2 \right)$	V_B Volumen des Bodens (Kugelabschnitt)	m^3
	d Durchmesser am Rand des Bodens	m
	h Höhe (Wölbung) des Bodens	m

1.3 Geometrie: Oberfläche

Gleichung	Größe und Bedeutung	Einheit
Oberfläche von Würfel und Quader		
$A_{O,W} = 6 \cdot a^2$	$A_{O,W}$, $A_{O,Q}$	Oberfläche von Würfel bzw. Quader m^2
$A_{O,Q} = 2 \cdot (a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c)$	a, b, c	Kantenlängen m
Oberfläche des Zylinders		
$A_M = \pi \cdot d \cdot h$	A_M	Mantelfläche m^2
$A_{O,Z} = A_M + 2 \cdot A_K$	$A_{O,Z}$	Gesamtoberfläche (Mantelfläche plus Boden- und Deckfläche) m^2
$A_{O,Z} = \pi \cdot d \cdot h + 2 \cdot \pi \cdot r^2$	A_K	Kreisfläche von Boden bzw. Deckel, $A_K = \pi \cdot r^2$ m^2
	d, r, h	Durchmesser, Radius und Höhe des Zylinders m
Oberfläche der Kugel		
$A_{O,Ku} = \pi \cdot d^2$	$A_{O,Ku}$	Oberfläche der Kugel m^2
$A_{O,Ku} = 4 \cdot \pi \cdot r^2$	d, r	Durchmesser bzw. Radius m

1.4 Diagramme und Messwerte

Gleichung	Größe und Bedeutung	Einheit
Geradengleichung		
$y = m \cdot x + b$	x, y	aufgetragene Größen (x -Achse bzw. y -Achse) je nach Größe
	m	Steigung der Geraden $[y]/[x]$
	b	y -Achsenabschnitt $[y]$
Steigung aus zwei Punkten		
$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$	m	Steigung (aus dem Steigungsdreieck) $[y]/[x]$
	$(x_1 y_1),$ $(x_2 y_2)$	zwei Punkte der Geraden
Lineare Interpolation		
$y = y_1 + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \cdot (y_2 - y_1)$	x, y	gesuchter Wert y zum bekannten Wert x je nach Größe
	$(x_1 y_1),$ $(x_2 y_2)$	benachbarte Tabellenwerte unterhalb bzw. oberhalb von x

2 Mechanik

2.1 Dichte

Gleichung	Größe und Bedeutung		Einheit
Dichte			
$\varrho = \frac{m}{V}$	ϱ	Dichte	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
	m	Masse	kg
	V	Volumen	m ³

2.2 Kinematik

Gleichung	Größe und Bedeutung		Einheit
Geschwindigkeit			
$v = \frac{s}{t}$	v	Geschwindigkeit	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$
	s	Weg (Strecke)	m
	t	Zeit	s
Beschleunigung			
$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	a	Beschleunigung	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
	Δv	Geschwindigkeitsänderung	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$
	Δt	dafür benötigte Zeit	s
Gleichmäßig beschleunigte Bewegung (Start aus dem Stand)			
$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$	s	zurückgelegter Weg	m
	a	Beschleunigung	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
$s = \frac{1}{2} \cdot v \cdot t$	v	erreichte Endgeschwindigkeit	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$
	t	Dauer der Beschleunigung	s

2.3 Kraft

Gleichung	Größe und Bedeutung		Einheit
Grundgleichung der Mechanik			
$F = m \cdot a$	F	Kraft	$\text{N} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$
	m	Masse	kg
	a	Beschleunigung	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
Gewichtskraft			
$F_G = m \cdot g$	F_G	Gewichtskraft	N
	m	Masse	kg
	g	Ortsfaktor (Fallbeschleunigung), auf der Erde $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \frac{\text{N}}{\text{kg}}$

2.4 Arbeit und Leistung

Gleichung	Größe und Bedeutung		Einheit
Arbeit			
$W = F \cdot s$	W	Arbeit	J = N · m
	F	Kraft	N
	s	Weg in Kraftrichtung	m
Leistung			
$P = \frac{W}{t}$	P	Leistung	W = $\frac{\text{J}}{\text{s}} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{s}}$
	W	Arbeit	J
	t	Zeit	s
Leistung bei gleichförmiger Bewegung			
$P = F \cdot v$	P	Leistung	W
	F	Kraft	N
	v	Geschwindigkeit	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$
Hubleistung (Pumpenleistung)			
$P = \frac{m \cdot g \cdot s}{t}$	P	Leistung	W
	m	Masse	kg
	g	Ortsfaktor	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
	s	Hubhöhe	m
	t	Zeit	s
Anheben der Masse m um die Höhe s (mit $F = m \cdot g$). Bei Pumpen entspricht s der Förderhöhe h ; P ist dann die abgegebene Leistung P_{ab} .			
Hubleistung mit dem Massenstrom			
$P = \dot{m} \cdot g \cdot s$	$\dot{m}$	Massenstrom, $\dot{m} = m/t$	$\frac{\text{kg}}{\text{s}}$
Hubleistung mit dem Volumenstrom			
$P = \dot{V} \cdot \varrho \cdot g \cdot s$	$\dot{V}$	Volumenstrom, $\dot{V} = V/t$	$\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
	ϱ	Dichte	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Hydraulische Leistung (Förderleistung einer Pumpe)			
$P = \Delta p \cdot \dot{V}$	P	Leistung	W
	Δp	Druckerhöhung durch die Pumpe	Pa
	$\dot{V}$	Volumenstrom	$\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
Mit $\Delta p = \varrho \cdot g \cdot h$ ergibt sich die Hubleistung mit dem Volumenstrom.			

2.5 Wirkungsgrad

Gleichung	Größe und Bedeutung	Einheit
-----------	---------------------	---------

Wirkungsgrad

$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$	η Wirkungsgrad	–
	P_{ab} abgegebene Leistung	W
	P_{zu} zugeführte Leistung	W
$\eta = \frac{W_{ab}}{W_{zu}}$	W_{ab}, W_{zu} abgegebene bzw. zugeführte Arbeit	J

Bei realen Maschinen ist der Wirkungsgrad immer kleiner als 1 bzw. 100 %.

Verlustleistung und Leistungsverlust

$P_{\text{Verlust}} = P_{zu} - P_{ab}$	P_{Verlust} Verlustleistung	W
$\eta = 1 - \text{Leistungsverlust}$	Leistungs- Anteil von P_{zu} , der verloren geht (als	–
$\eta = 100 \% - \text{Leistungsverlust}$	verlust Zahl bzw. in %)	–

Gesamtwirkungsgrad

$\eta_{ges} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \dots$	η_{ges} Gesamtwirkungsgrad	–
	$\eta_1, \eta_2, \dots$ Wirkungsgrad des jeweiligen Anlagenteils	–

Für hintereinander geschaltete Anlagenteile, z. B. Motor, Getriebe, Pumpe.

2.6 Druck

Gleichung	Größe und Bedeutung	Einheit
-----------	---------------------	---------

Druck

$p = \frac{F}{A}$	p Druck	Pa = $\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$
	F Kraft	N
	A Fläche	m ²

Hydrostatischer Druck

$p_{hyd} = \varrho \cdot g \cdot h$	p_{hyd} hydrostatischer Druck	Pa
	ϱ Dichte der Flüssigkeit	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
	g Ortsfaktor	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
	h Höhe der Flüssigkeitssäule	m

Absolutdruck

$p_{abs} = p_e + p_{amb}$	p_{abs} Absolutdruck	Pa
	p_e Überdruck	Pa
	p_{amb} Atmosphärendruck (Umgebungsdruck)	Pa

Druckdifferenz

$\Delta p = p_2 - p_1$	Δp	Druckdifferenz zwischen zwei Drücken	Pa
	p_1, p_2	Druck an Stelle 1 bzw. 2	Pa

U-Rohr-Manometer

$\Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta h$	Δp	gemessene Druckdifferenz	Pa
	ρ	Dichte der Sperrflüssigkeit	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
	Δh	Höhendifferenz der beiden Flüssigkeitssäulen	m

Bodendruck im geschlossenen Behälter

$p_{\text{ges}} = p_K + p_{\text{hyd}}$	p_{ges}	Druck am Boden	Pa
	p_K	Druck im Gasraum über der Flüssigkeit	Pa
	p_{hyd}	hydrostatischer Druck der Flüssigkeitssäule	Pa

Gebräuchliche Druckeinheiten

1 bar = 100 000 Pa = 1 000 mbar	Pa	Pascal, SI-Einheit des Drucks	$= \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$
1 mbar = 1 hPa	bar	Bar	$= 10^5 \text{ Pa}$

2.7 Kraft- und Druckwandler

Gleichung	Größe und Bedeutung		Einheit
Kraftwandler: Kräfte und Flächen			
$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$	F_1, F_2	Kraft auf Kolben 1 bzw. 2	N
	A_1, A_2	Fläche von Kolben 1 bzw. 2	m ²
Kraftwandler: Kolbenwege			
$A_1 \cdot s_1 = A_2 \cdot s_2$	A_1, A_2	Fläche von Kolben 1 bzw. 2	m ²
	s_1, s_2	Weg (Hub) von Kolben 1 bzw. 2	m
Druckwandler: Drücke und Flächen			
$p_1 \cdot A_1 = p_2 \cdot A_2$	p_1, p_2	Druck an Kolben 1 bzw. 2	Pa
	A_1, A_2	Fläche von Kolben 1 bzw. 2	m ²
Druckwandler: Gasvolumen (Temperatur konstant)			
$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$	p_1, p_2	Druck vorher bzw. nachher	Pa
	V_1, V_2	Volumen der eingeschlossenen Gasmenge vorher bzw. nachher (bei gleichbleibender Temperatur)	m ³

2.8 Auftrieb

Gleichung	Größe und Bedeutung		Einheit
Auftriebskraft			
$F_A = F_U - F_O$	F_A	Auftriebskraft	N
	F_U, F_O	Kraft auf die Unter- bzw. Oberseite des eingetauchten Körpers	N
Hydrostatische Waage			
$F_A = (m_L - m_{F1}) \cdot g$	F_A	Auftriebskraft	N
	m_L	Masse (gewogen an Luft)	kg
	m_{F1}	scheinbare Masse (gewogen in der Flüssigkeit)	kg
	g	Ortsfaktor	$\frac{m}{s^2}$

2.9 Zerkleinern

Gleichung	Größe und Bedeutung		Einheit
Zerkleinerungsgrad			
$Z = \frac{D}{d}$	Z	Zerkleinerungsgrad	–
	D	Korngröße vor der Zerkleinerung	m
	d	Korngröße nach der Zerkleinerung (gleiche Einheit wie D)	m

Grobzerkleinerung: $Z = 3$ bis 10 ; Feinzerkleinerung: $Z > 50$.

3 Wärme und Temperatur

3.1 Temperatur

Gleichung	Größe und Bedeutung		Einheit
Umrechnung zwischen Celsius und Kelvin			
$T = \left(\frac{\vartheta}{^{\circ}\text{C}} + 273,15\right) \text{K}$	T	absolute Temperatur	K
$\vartheta = \left(\frac{T}{\text{K}} - 273,15\right) ^{\circ}\text{C}$	ϑ	Celsius-Temperatur	$^{\circ}\text{C}$
Temperaturdifferenz			
$\Delta T = T_2 - T_1$	ΔT	Temperaturdifferenz	K
$\Delta \vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$	$\Delta \vartheta$	Temperaturdifferenz	$^{\circ}\text{C}$
Die Zahlenwerte einer Temperaturdifferenz in K und in $^{\circ}\text{C}$ sind gleich: $\Delta T = \Delta \vartheta$.			

3.2 Längenausdehnung

Gleichung	Größe und Bedeutung		Einheit
Längenänderung			
$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$	Δl	Längenänderung	m
	l_0	Ausgangslänge	m
	α	Längenausdehnungskoeffizient	$\frac{1}{\text{K}}$
	ΔT	Temperaturänderung	K
Länge nach der Temperaturänderung			
$l = l_0 + \Delta l$	l	Länge nach der Temperaturänderung	m

3.3 Volumenausdehnung

Gleichung	Größe und Bedeutung		Einheit
Volumenänderung fester und flüssiger Stoffe			
$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$	ΔV	Volumenänderung	m ³
	V_0	Ausgangsvolumen	m ³
	γ	Volumenausdehnungskoeffizient	$\frac{1}{K}$
	ΔT	Temperaturänderung	K
Volumen nach der Temperaturänderung			
$V = V_0 + \Delta V$	V	Volumen nach der Temperaturänderung	m ³
$V = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta T)$			
Volumenänderung als Differenz			
$\Delta V = V_2 - V_1$	V_1, V_2	Anfangs- bzw. Endvolumen	m ³
Relative Volumenausdehnung			
$\Delta V_{rel} = \Delta V(\text{Fl}) - \Delta V(\text{B})$	ΔV_{rel}	relative Volumenausdehnung	m ³
$\Delta V_{rel} = V_0 \cdot (\gamma(\text{Fl}) - \gamma(\text{B})) \cdot \Delta T$	$\gamma(\text{Fl}),$ $\gamma(\text{B})$	Volumenausdehnungskoeffizient der Flüssigkeit bzw. des Behälters	$\frac{1}{K}$
Für eine Flüssigkeit (Fl) in einem Behälter (B), der sich selbst mit ausdehnt.			

3.4 Wärmemenge

Gleichung	Größe und Bedeutung	Einheit
-----------	---------------------	---------

Wärmemenge beim Erwärmen und Abkühlen

$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$	Q	Wärmemenge (Wärme)	J
	m	Masse	kg
	c	spezifische Wärmekapazität	$\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
	ΔT	Temperaturänderung	K

Wärmestrom

$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T$	$\dot{Q}$	Wärmestrom (Wärmeleistung)	W
	$\dot{m}$	Massenstrom	$\frac{\text{kg}}{\text{s}}$
$\dot{Q} = \frac{Q}{t}$	c	spezifische Wärmekapazität	$\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
	ΔT	Temperaturänderung	K
	t	Zeit	s

Der Wärmestrom ist die pro Zeit übertragene Wärme, also eine Leistung.

Verdampfungs- und Kondensationswärme

$Q = m \cdot r$	Q	Wärmemenge	J
	m	Masse des verdampften bzw. kondensierten Stoffs	kg
	r	spezifische Verdampfungswärme	$\frac{\text{J}}{\text{kg}}$

Beim Verdampfen wird Q aufgenommen, beim Kondensieren (z. B. Heizdampf) wird dieselbe Wärme abgegeben. Die Temperatur bleibt dabei gleich.

Wärmebilanz (z. B. Wärmetauscher)

$Q_{ab} = Q_{auf}$ $m_1 \cdot c_1 \cdot \Delta T_1 = m_2 \cdot c_2 \cdot \Delta T_2$	Q_{ab}, Q_{auf}	abgegebene bzw. aufgenommene Wärme	J
	m_1, m_2	Masse des warmen bzw. kalten Stoffs	kg
	c_1, c_2	spezifische Wärmekapazität	$\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
	$\Delta T_1, \Delta T_2$	Temperaturänderung des jeweiligen Stoffs	K

Ohne Wärmeverluste nimmt der kalte Stoff 2 genau die Wärme auf, die der warme Stoff 1 abgibt. Für Heizdampf gilt links $Q_{ab} = m \cdot r$.

4 Strömungslehre

4.1 Volumenstrom und Massenstrom

Gleichung	Größe und Bedeutung		Einheit
-----------	---------------------	--	---------

Volumenstrom

$\dot{V} = \frac{V}{t}$	$\dot{V}$	Volumenstrom	$\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
	V	Volumen, das in der Zeit t strömt	m^3
	t	Zeit	s

Umgestellt: $V = \dot{V} \cdot t$.

Massenstrom

$\dot{m} = \frac{m}{t}$	$\dot{m}$	Massenstrom	$\frac{\text{kg}}{\text{s}}$
	m	Masse, die in der Zeit t strömt	kg
	t	Zeit	s

Umgestellt: $m = \dot{m} \cdot t$.

Volumenstrom aus Querschnitt und Geschwindigkeit

$\dot{V} = A \cdot v$	$\dot{V}$	Volumenstrom	$\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
	A	Querschnittsfläche der Rohrleitung	m^2
	v	Strömungsgeschwindigkeit	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Damit gilt auch $V = A \cdot v \cdot t$.

Massenstrom aus Volumenstrom

$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V}$	$\dot{m}$	Massenstrom	$\frac{\text{kg}}{\text{s}}$
$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v$	ρ	Dichte des strömenden Stoffs	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Volumenstrom einer Kolbenpumpe

	V_{Hub}	Hubvolumen (Volumen pro Kolbenhub)	m^3
$V_{Hub} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot s$	d	Kolbendurchmesser	m
	s	Hublänge	m
$\dot{V} = V_{Hub} \cdot f$	f	Hubfrequenz (Anzahl der Hübe pro Zeit)	$\frac{1}{\text{s}}$
	$\dot{V}$	Volumenstrom	$\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

4.2 Kontinuitätsgleichung

Gleichung	Größe und Bedeutung	Einheit
-----------	---------------------	---------

Gleicher Volumenstrom an jeder Stelle

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2 \quad \dot{V}_1, \dot{V}_2 \quad \text{Volumenstrom an Stelle 1 bzw. 2} \quad \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Ein nicht komprimierbarer Stoff hat an jedem Rohrquerschnitt den gleichen Volumenstrom. Das ist die Grundlage der Kontinuitätsgleichung.

Kontinuitätsgleichung

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

A_1, A_2	Rohrquerschnittsfläche an Stelle 1 bzw. 2	m^2
v_1, v_2	Strömungsgeschwindigkeit an Stelle 1 bzw. 2	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Wird der Querschnitt kleiner, steigt die Strömungsgeschwindigkeit.

Kontinuitätsgleichung für Rohre mit Kreisquerschnitt

$$d_1^2 \cdot v_1 = d_2^2 \cdot v_2$$

d_1, d_2	Rohrinnendurchmesser an Stelle 1 bzw. 2	m
v_1, v_2	Strömungsgeschwindigkeit an Stelle 1 bzw. 2	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$

4.3 Gesetz von Bernoulli

Gleichung	Größe und Bedeutung	Einheit
-----------	---------------------	---------

Gesamtdruck

$$p_{\text{ges}} = p_{\text{stat}} + p_{\text{dyn}}$$

p_{ges}	Gesamtdruck	Pa
p_{stat}	statischer Druck	Pa
p_{dyn}	dynamischer Druck	Pa

Gilt für eine waagerechte Rohrleitung und reibungsfreie Strömung: Der Gesamtdruck ist dann an jeder Stelle gleich. Wird der Querschnitt kleiner, steigt p_{dyn} und p_{stat} sinkt.

Statischer Druck

$$p_{\text{stat}} = \frac{F}{A}$$

p_{stat}	statischer Druck	Pa
F	Kraft auf die Flüssigkeit	N
A	Fläche	m^2

Durch eine auf die Flüssigkeit wirkende Kraft erzeugt; wirkt in alle Richtungen.

Dynamischer Druck (Staudruck)

$$p_{\text{dyn}} = \frac{\rho}{2} \cdot v^2$$

p_{dyn}	dynamischer Druck	Pa
ρ	Dichte	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
v	Strömungsgeschwindigkeit	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Durch die Strömung erzeugt; wirkt nur in Strömungsrichtung.

5 Elektrik

5.1 Ohmsches Gesetz

Gleichung	Größe und Bedeutung		Einheit
-----------	---------------------	--	---------

Ohmsches Gesetz

$U = R \cdot I$	U	Spannung	V
	R	Widerstand	Ω
	I	Stromstärke	A

Elektrische Leistung

$P = U \cdot I$	P	elektrische Leistung	$W = V \cdot A$
	U	Spannung	V
	I	Stromstärke	A

Mit $U = R \cdot I$ folgt auch $P = R \cdot I^2 = U^2/R$.

Widerstand eines Leiters

$R = \frac{\varrho \cdot l}{A}$	R	Widerstand	Ω
	ϱ	spezifischer elektrischer Widerstand des Leiterwerkstoffs	$\Omega \cdot m$
	l	Länge des Leiters	m
	A	Querschnittsfläche des Leiters	m^2

Temperaturabhängiger Widerstand (z. B. Pt100)

$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$ $\Delta R = R_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$	R	Widerstand bei der Temperatur ϑ	Ω
	R_0	Widerstand bei der Bezugstemperatur (meist $0^\circ C$)	Ω
	ΔR	Widerstandsänderung, $\Delta R = R - R_0$	Ω
	α	Temperaturkoeffizient des Widerstands	$\frac{1}{K}$
	ΔT	Temperaturänderung gegenüber der Bezugstemperatur	K

Ein Pt100 hat bei $0^\circ C$ den Widerstand $R_0 = 100 \Omega$.

5.2 Schaltung von Widerständen

Gleichung	Größe und Bedeutung	Einheit
Reihenschaltung		
$R_{\text{ges}} = R_1 + R_2 + \dots$	R_{ges} Gesamtwiderstand	Ω
	$R_1, R_2, \dots$ Einzelwiderstände	Ω
$U_{\text{ges}} = U_1 + U_2 + \dots$	U_{ges} Gesamtspannung	V
$I = I_1 = I_2 = \dots$	$U_1, U_2, \dots$ Teilspannungen an den Einzelwiderständen	V
	I Stromstärke	A

Durch alle Widerstände fließt derselbe Strom, die Gesamtspannung teilt sich auf.

Spannungsteiler (Reihenschaltung)

$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$	U_1, U_2 Teilspannung an R_1 bzw. R_2	V
	U_{ges} Gesamtspannung	V
$U_2 = U_{\text{ges}} \cdot \frac{R_2}{R_{\text{ges}}}$	R_1, R_2 Einzelwiderstände	Ω
	R_{ges} Gesamtwiderstand	Ω

Am größeren Widerstand liegt die größere Teilspannung.

Parallelschaltung

$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$	R_{ges} Gesamtwiderstand	Ω
	$R_1, R_2, \dots$ Einzelwiderstände	Ω
$R_{\text{ges}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$	I_{ges} Gesamtstrom	A
$I_{\text{ges}} = I_1 + I_2 + \dots$	$I_1, I_2, \dots$ Teilströme durch die Einzelwiderstände	A
$U = U_1 = U_2 = \dots$	U Spannung	V

Die zweite Gleichung gilt nur für zwei parallel geschaltete Widerstände. An allen Widerständen liegt dieselbe Spannung, der Gesamtstrom teilt sich auf.

6 Messtechnik

6.1 Messbereich und Messabweichung

Gleichung	Größe und Bedeutung	Einheit
-----------	---------------------	---------

Messspanne

$\Delta x = x_{\max} - x_{\min}$	Δx Messspanne (Breite des Messbereichs) $x_{\max}, x_{\min}$ Messbereichsende bzw. Messbereichsanfang	wie x wie x
----------------------------------	--	--------------------

Messabweichung aus der Genauigkeitsklasse

$F = \frac{\text{Kl}}{100\%} \cdot \Delta x$	F größte zulässige Messabweichung (Fehlergrenze)	wie x
$x_{\text{wahr}} = x_{\text{mess}} \pm F$	Kl Genauigkeitsklasse, z. B. Kl 2,5	%
	Δx Messspanne	wie x
	x_{mess} angezeigter Messwert	wie x
	x_{wahr} Bereich, in dem der wahre Wert liegt	wie x

Die Genauigkeitsklasse gibt die größte zulässige Messabweichung in Prozent der Messspanne an.

6.2 Einheitssignal

Gleichung	Größe und Bedeutung	Einheit
-----------	---------------------	---------

Einheitssignal 4 mA bis 20 mA (Messumformer)

$I = I_{\min} + (x - x_{\min}) \cdot \frac{\Delta I}{\Delta x}$	I Ausgangsstrom des Messumformers	A
$x = x_{\min} + (I - I_{\min}) \cdot \frac{\Delta x}{\Delta I}$	$I_{\min}$ Signal am Messbereichsanfang	A
	ΔI Signalspanne, $\Delta I = I_{\max} - I_{\min}$	A
	x Messgröße, z. B. Druck, Temperatur, Füllstand, Volumenstrom	je nach Größe
	$x_{\min}$ Messbereichsanfang	wie x
	Δx Messspanne	wie x

Linearer Zusammenhang zwischen Messgröße und Ausgangssignal. Für 4 mA bis 20 mA gilt $I_{\min} = 4 \text{ mA}$ und $\Delta I = 16 \text{ mA}$.

6.3 Füllstandmessung

Gleichung	Größe und Bedeutung		Einheit
Füllstand über die Laufzeit (Ultraschall, Radar)			
	s	Abstand Sensor – Flüssigkeitsoberfläche	m
$s = \frac{v \cdot t}{2}$	v	Ausbreitungsgeschwindigkeit des Signals	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$
$h = l - s$	t	gemessene Laufzeit (hin und zurück)	s
	h	Füllstand	m
	l	Abstand Sensor – Behälterboden	m

Das Signal läuft zur Oberfläche und zurück, deshalb halbiert sich der Weg.

Füllstand über den hydrostatischen Druck

	h	Füllstand über dem Sensor	m
$h = \frac{p_{hyd}}{\varrho \cdot g}$	p_{hyd}	gemessener hydrostatischer Druck	Pa
	ϱ	Dichte der Flüssigkeit	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
	g	Ortsfaktor	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

7 Stoffmenge, molare Masse und Gase

7.1 Atombau

Gleichung	Größe und Bedeutung		Einheit
Schalenmodell			
$z = 2 \cdot n^2$	z	höchstmögliche Anzahl an Elektronen auf einer Schale	–
	n	Schalennummer	–

7.2 Stoffmenge und molare Masse

Gleichung	Größe und Bedeutung		Einheit
Molare Masse			
$M(X) = \frac{m(X)}{n(X)}$	$M(X)$	molare Masse des Stoffs X	$\frac{\text{g}}{\text{mol}}$
$n(X) = \frac{m(X)}{M(X)}$	$m(X)$	Masse des Stoffs X	g
	$n(X)$	Stoffmenge des Stoffs X	mol
$m(X) = n(X) \cdot M(X)$			

Molare Masse einer Verbindung

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot M(\text{H}) + M(\text{O}) \quad M \quad \text{molare Masse} \quad \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

Die molare Masse ist die Summe der molaren Massen aller enthaltenen Atome (hier am Beispiel Wasser).

Avogadro-Konstante

$$N_A = \frac{N(X)}{n(X)} \quad N_A \quad \text{Avogadro-Konstante,} \quad \frac{1}{\text{mol}}$$

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}$$

$$N(X) = N_A \cdot n(X) \quad N(X) \quad \text{Teilchenzahl} \quad -$$

$$n(X) \quad \text{Stoffmenge} \quad \text{mol}$$

Stoffmengenstrom

$$\dot{n}(X) = \frac{\dot{m}(X)}{M(X)} \quad \dot{n}(X) \quad \text{Stoffmengenstrom} \quad \frac{\text{mol}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}(X) \quad \text{Massenstrom} \quad \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$M(X) \quad \text{molare Masse} \quad \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$\dot{V}(X) = \dot{n}(X) \cdot V_{m,n} \quad \dot{V}(X) \quad \text{Volumenstrom des Gases (Normbedingungen)} \quad \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V_{m,n} \quad \text{molares Normvolumen} \quad \frac{\text{L}}{\text{mol}}$$

Die zweite Gleichung gilt für Gase unter Normbedingungen.

7.3 Ideale Gase

Gleichung	Größe und Bedeutung	Einheit
Molares Normvolumen		
$V(X) = n(X) \cdot V_{m,n}$	$V(X)$ Gasvolumen unter Normbedingungen	L
$n(X) = \frac{V(X)}{V_{m,n}}$	$n(X)$ Stoffmenge	mol
	$V_{m,n}$ molares Normvolumen, $V_{m,n} = 22,4 \frac{\text{L}}{\text{mol}}$	$\frac{\text{L}}{\text{mol}}$

Normbedingungen und Konstanten

$$p_n = 101\,325 \text{ Pa} \quad p_n \quad \text{Normdruck} \quad \text{Pa}$$

$$T_n = 273,15 \text{ K} \quad T_n \quad \text{Normtemperatur (0 °C)} \quad \text{K}$$

$$V_{m,n} = 22,4 \frac{\text{L}}{\text{mol}} \quad V_{m,n} \quad \text{molares Normvolumen: Volumen von} \quad \frac{\text{L}}{\text{mol}}$$

$$1 \text{ u} = 1,660539 \cdot 10^{-24} \text{ g} \quad \text{u} \quad \text{atomare Masseneinheit} \quad \text{g}$$

Genauer gilt $V_{m,n} = 22,414 \frac{\text{L}}{\text{mol}}$.

Allgemeine Gasgleichung

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$	p	Druck	Pa
	V	Volumen	m ³
	n	Stoffmenge	mol
	R	universelle Gaskonstante, $R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$	$\frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$
	T	absolute Temperatur	K

Gilt für ideale Gase. p in Pa und V in m³ einsetzen.

Zustandsänderung einer gleichbleibenden Gasmenge

$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$	p	Druck	Pa
	V	Volumen	m ³
	T	absolute Temperatur	K

Index 1: Anfangszustand, Index 2: Endzustand. p und V jeweils in beiden Zuständen in gleicher Einheit, T immer in Kelvin.

Gesetz von Boyle-Mariotte

$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$	p	Druck	Pa
	V	Volumen	m ³

Isotherm: Die Temperatur bleibt konstant. p und V jeweils in beiden Zuständen in gleicher Einheit.

Gesetz von Gay-Lussac

$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	V	Volumen	m ³
	T	absolute Temperatur	K

Isobar: Der Druck bleibt konstant.

Gesetz von Amontons

$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$	p	Druck	Pa
	T	absolute Temperatur	K

Isochor: Das Volumen bleibt konstant.

Gesetz von Avogadro

$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$	V	Gasvolumen	m ³
	n	Stoffmenge	mol

Bei gleichem Druck und gleicher Temperatur sind Gasvolumen und Stoffmenge proportional (mit $V = n \cdot V_m$).

Universelle Gaskonstante aus den Normbedingungen

$R = \frac{p_n \cdot V_{m,n}}{T_n}$	R	universelle Gaskonstante	$\frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$
-------------------------------------	-----	--------------------------	--

Mit $p_n = 101\,325 \text{ Pa}$, $V_{m,n} = 0,022414 \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}$ und $T_n = 273,15 \text{ K}$ folgt $R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$.

8 Lösungen und Gemische

8.1 Gehaltsgrößen

Gleichung	Größe und Bedeutung		Einheit
Massenanteil			
$w(X) = \frac{m(X)}{m_{\text{ges}}}$	$w(X)$	Massenanteil des Stoffs X	–
	$m(X)$	Masse des Stoffs X	g
	m_{ges}	Gesamtmasse der Lösung bzw. des Gemischs	g
Volumenkonzentration			
$\sigma(X) = \frac{V(X)}{V_{\text{ges}}}$	$\sigma(X)$	Volumenkonzentration des Stoffs X	–
	$V(X)$	Volumen des Stoffs X	L
	V_{ges}	Gesamtvolumen der Lösung bzw. des Gemischs	L
Massenkonzentration			
$\beta(X) = \frac{m(X)}{V(\text{Lösung})}$	$\beta(X)$	Massenkonzentration	$\frac{\text{g}}{\text{L}}$
	$m(X)$	Masse des gelösten Stoffs	g
	$V(\text{Lösung})$	Volumen der Lösung	L
Stoffmengenkonzentration			
$c(X) = \frac{n(X)}{V(\text{Lösung})}$	$c(X)$	Stoffmengenkonzentration	$\frac{\text{mol}}{\text{L}}$
	$n(X)$	Stoffmenge des gelösten Stoffs	mol
	$V(\text{Lösung})$	Volumen der Lösung	L

8.2 Umrechnung von Gehaltsgrößen

Gleichung	Größe und Bedeutung		Einheit
Massenanteil in Massenkonzentration			
$\beta(X) = \varrho(\text{Lösung}) \cdot w(X)$	$\beta(X)$	Massenkonzentration	$\frac{\text{g}}{\text{L}}$
	$\varrho(\text{Lösung})$	Dichte der Lösung	$\frac{\text{g}}{\text{L}}$
	$w(X)$	Massenanteil	—
Massenanteil in Stoffmengenkonzentration			
$c(X) = \frac{w(X) \cdot \varrho(\text{Lösung})}{M(X)}$	$c(X)$	Stoffmengenkonzentration	$\frac{\text{mol}}{\text{L}}$
	$w(X)$	Massenanteil	—
	$\varrho(\text{Lösung})$	Dichte der Lösung	$\frac{\text{g}}{\text{L}}$
	$M(X)$	molare Masse	$\frac{\text{g}}{\text{mol}}$

Achtung bei der Einheit der Dichte: $1 \frac{\text{g}}{\text{mL}} = 1\,000 \frac{\text{g}}{\text{L}}$.

8.3 Mischungsrechnen

Gleichung	Größe und Bedeutung		Einheit
Gesamtmasse der Mischung			
$m_M = m_1 + m_2$	m	Masse	kg
Index M : Mischung aus Lösung 1 und Lösung 2.			
Mischungsgleichung			
$m_1 \cdot w_1 + m_2 \cdot w_2 = m_M \cdot w_M$	$m_1, m_2,$	Masse von Lösung 1, Lösung 2 bzw.	kg
	m_M	der Mischung	
	$w_1, w_2,$	Massenanteil von X in Lösung 1, in	–
	w_M	Lösung 2 bzw. in der Mischung	
Die Masse des gelösten Stoffs X bleibt beim Mischen erhalten.			
Mischungsgleichung für mehrere Lösungen			
$\sum_i m_i \cdot w_i = m_M \cdot w_M$	m	Masse	kg
	w	Massenanteil	–
Ausgeschrieben $m_1 \cdot w_1 + m_2 \cdot w_2 + \dots + m_n \cdot w_n$; dabei gilt $m_M = \sum m_i$.			
Verdünnen			
$m_1 \cdot w_1 = m_M \cdot w_M$	m	Masse	kg
	w	Massenanteil	–
Verdünnen mit reinem Lösemittel ($w = 0$). Es gilt $m_M = m_1 + m_2$, wobei m_2 die Masse des zugegebenen Lösemittels ist.			
Aufkonzentrieren			
$m_1 \cdot w_1 + m_2 = m_M \cdot w_M$	m	Masse	kg
	w	Massenanteil	–
Aufkonzentrieren mit reinem gelösten Stoff ($w = 1$). Es gilt $m_M = m_1 + m_2$, wobei m_2 die Masse des zugegebenen Stoffs ist.			
Eindampfen			
$m_1 \cdot w_1 = (m_1 - m_L) \cdot w_2$	m_1	Masse der Lösung vor dem Eindampfen	kg
	m_L	Masse des verdampften Lösemittels	kg
	w_1, w_2	Massenanteil vor bzw. nach dem Eindampfen	–

Wassergehalt (Feuchte)

$m(\text{H}_2\text{O}) = m_{\text{feucht}} - m_{\text{trocken}}$	$w(\text{H}_2\text{O})$	Wassergehalt (Massenanteil Wasser)	–
$w(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{m_{\text{feucht}}}$	$m_{\text{feucht}},$ m_{trocken}	Masse vor bzw. nach dem Trocknen	kg
	$m(\text{H}_2\text{O})$	Masse des verdampften Wassers	kg

Die Massen sind Nettomassen, also ohne Schale bzw. Blech.

Trocknen

$m_1 \cdot (1 - w_1) = m_3 \cdot (1 - w_3)$	m_1, m_3	Masse des Guts vor bzw. nach dem Trocknen	kg
$m_3 = m_1 - m_2$	m_2	Masse des entfernten Wassers	kg
	w_1, w_3	Wassergehalt vor bzw. nach dem Trocknen	–

Die Trockenmasse bleibt beim Trocknen erhalten.

8.4 Löslichkeit

Gleichung	Größe und Bedeutung		Einheit
Löslichkeit			
$L(X) = \frac{m(X)}{V(\text{Lösemittel})}$	$L(X)$	Löslichkeit	$\frac{\text{g}}{\text{L}}$
	$m(X)_{\text{max}}$	höchstens lösliche Masse	g
$m(X)_{\text{max}} = L(X) \cdot V(\text{Lösemittel})$	V	Volumen des Lösemittels, $V(\text{Lösemittel})$	L

Masse des Stoffs X , die sich im Volumen $V(\text{Lösemittel})$ des Lösemittels höchstens löst.

Gesättigte Lösung

$c(X)_{\text{max}} = \frac{L(X)}{M(X)}$	$c(X)_{\text{max}}$	Stoffmengenkonzentration der gesättigten Lösung	$\frac{\text{mol}}{\text{L}}$
	$L(X)$	Löslichkeit	$\frac{\text{g}}{\text{L}}$
	$M(X)$	molare Masse	$\frac{\text{g}}{\text{mol}}$

Maximale Stoffmengenkonzentration (Löslichkeit in $\frac{\text{mol}}{\text{L}}$). Näherung: L bezieht sich auf das Volumen des Lösemittels, c auf das Volumen der Lösung. Bei verdünnten Lösungen ist der Unterschied gering.

Gelöste Masse bei anderer Lösemittelmenge

$\frac{m_1}{V_1} = \frac{m_2}{V_2}$	m_1, m_2	gelöste Masse in Ansatz 1 bzw. 2	g
	V_1, V_2	Lösemittelvolumen in Ansatz 1 bzw. 2	L

Bei gleicher Konzentration sind gelöste Masse und Lösemittelvolumen proportional, z. B. beim Umrechnen der Löslichkeit auf eine andere Lösemittelmenge.

Löslichkeit bezogen auf die Masse des Lösemittels

$$L^*(X) = \frac{m(X)}{m(\text{LM})}$$

$L^*(X)$	Löslichkeit (Masse Stoff pro Masse Lösemittel)	–
$m_{\text{gelöst}} = L^*(X) \cdot m(\text{LM})$	$m_{\text{gelöst}}$ höchstens gelöste Masse des Stoffs X	kg
	$m(\text{LM})$ Masse des Lösemittels (LM)	kg

Tabellenwerte werden oft in g pro 100 g Wasser angegeben: $36,4 \text{ g}/100 \text{ g} = 0,364$.

Kristallisation

$$m_{\text{Kristall}} = m(X) - m_{\text{gelöst}}$$

m_{Kristall}	Masse des auskristallisierten Stoffs	kg
$m(X)$	gesamte Masse des Stoffs X	kg
$m_{\text{gelöst}}$	in der gesättigten Lösung gelöste Masse von X	kg

Nach dem Abkühlen oder Eindampfen bleibt höchstens $m_{\text{gelöst}}$ in der gesättigten Lösung; der Rest kristallisiert aus.

9 Chemische Reaktionen

9.1 Stoffmengenverhältnis

Gleichung	Größe und Bedeutung	Einheit
Stoffmengenverhältnis aus der Reaktionsgleichung		
$\frac{n(A)}{n(B)} = \frac{\nu(A)}{\nu(B)}$	n Stoffmenge	mol
	ν stöchiometrische Zahl (Koeffizient) des Stoffs A bzw. B	–

Allgemeine Reaktion

$$\frac{n(A)}{a} = \frac{n(B)}{b} = \frac{n(C)}{c} = \frac{n(D)}{d}$$

n	Stoffmenge	mol
a, b, c, d	Koeffizienten der Reaktionsgleichung	–

Für die Reaktion $a A + b B \rightarrow c C + d D$.

9.2 Umsatz und Ausbeute

Gleichung	Größe und Bedeutung	Einheit
Umsatzgrad		
$X(A) = \frac{n_0(A) - n(A)}{n_0(A)}$	$X(A)$ Umsatzgrad	–
	$n_0(A)$ Stoffmenge zu Beginn der Reaktion	mol
	$n(A)$ Stoffmenge nach der Reaktion	mol

Bezogen auf das Edukt A; es gilt $0 \leq X \leq 1$.

Ausbeute

$$\eta = \frac{n_{\text{tats}}}{n_{\text{theor}}}$$

$$m_{\text{tats}} = m_{\text{theor}} \cdot \eta$$

η	Ausbeute eines Produkts	–
$n_{\text{tats}}, m_{\text{tats}}$	tatsächlich erhaltene Stoffmenge bzw. Masse	mol g
$n_{\text{theor}}, m_{\text{theor}}$	theoretisch mögliche Stoffmenge bzw. Masse	mol g

9.3 Titration (Maßanalyse)

Gleichung	Größe und Bedeutung	Einheit
-----------	---------------------	---------

Stoffmenge der verbrauchten Maßlösung

$n(\text{M})$	Stoffmenge des Stoffs in der verbrauchten Maßlösung	mol
$c(\text{M})$	Stoffmengenkonzentration der Maßlösung	$\frac{\text{mol}}{\text{L}}$
t	Titer (Korrekturfaktor der Maßlösung)	–
V	Verbrauch an Maßlösung	L

M: Maßlösung, z. B. NaOH oder HCl.

Massenanteil aus der Titration (Titrationsformel)

$m(\text{X})$	Masse des bestimmten Stoffs X in der Probe	g
$n(\text{M})$	Stoffmenge der verbrauchten Maßlösung	mol
$w(\text{X})$	Massenanteil von X in der Probe	–
$M(\text{X})$	molare Masse des Stoffs X	$\frac{\text{g}}{\text{mol}}$
$c(\text{M})$	Stoffmengenkonzentration der Maßlösung	$\frac{\text{mol}}{\text{L}}$
$z(\text{M}), z(\text{X})$	Äquivalentzahl: Anzahl der abgegebenen bzw. aufgenommenen H^+ pro Teilchen	–
V	Verbrauch an Maßlösung	L
t	Titer der Maßlösung	–
f_A	Aliquotierfaktor: $V(\text{Messkolben})/V(\text{Pipette})$; ohne Aliquotieren $f_A = 1$	–
$m(\text{Probe})$	Einwaage	g

$$\text{Zusammengefasst mit } n(\text{M}) = c(\text{M}) \cdot t \cdot V: \quad w(\text{X}) = \frac{M(\text{X}) \cdot c(\text{M}) \cdot z(\text{M}) \cdot V \cdot t \cdot f_A}{z(\text{X}) \cdot m(\text{Probe})}$$

Beispiel H_2SO_4 wird mit Maßlösung von NaOH titriert: $z(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2$, $z(\text{NaOH}) = 1$.

Stichwortverzeichnis

Die Zahlen verweisen auf die Seiten, auf denen die jeweilige Formel steht.

Absolutdruck	7	Interpolation, lineare	4
Aliquotierfaktor	24	Kegel	3
Amontons, Gesetz von	19	Kolbenpumpe	12
Arbeit	6	Kontinuitätsgleichung	13
Atomare Masseneinheit	18	Kraft	5
Atombau	17	Kraftwandler	8
Aufkonzentrieren	21	Kreis	2
Auftrieb	9	Kreisring	2
Ausbeute	24	Kristallisation	23
Avogadro, Gesetz von	19	Kugel	3, 4
Avogadro-Konstante	18	Kugelabschnitt	3
Behälterboden, gewölbter	3	Länge, Längenausdehnung	10
Bernoulli, Gesetz von	13	Leistung	6, 7, 14
Beschleunigung	5	Leiterwiderstand	14
Bodendruck	8	Löslichkeit	22, 23
Boyle-Mariotte, Gesetz von	8, 19	Masse, molare	17, 18
Celsius, Kelvin	9	Massenanteil	20, 24
Dichte	5, 6, 12, 20	Massenkonzentration	20
Dreieck	2	Massenstrom	6, 12
Druck	7, 8	Messabweichung	16
Druckdifferenz	8	Messspanne	16
Druckeinheiten	8	Messumformer	16
Druckwandler	8	Mischungsgleichung	21
Dynamischer Druck	13	Mischungsrechnen	21
Eindampfen	21	Normbedingungen	18, 19
Einheitssignal	16	Normvolumen, molares	18
Elektrische Leistung	14	Oberfläche	4
Feuchte	22	Ohmsches Gesetz	14
Fläche	2	Parallelschaltung	15
Füllstandmessung	17, 16	Prisma	3
Gasgleichung, allgemeine	19	Pt100	14
Gaskonstante	19	Pumpe	6, 12
Gay-Lussac, Gesetz von	19	Quader	3, 4
Gelöste Masse, Umrechnung	22	Rechteck	2
Genauigkeitsklasse	16	Reihenschaltung	15
Geradengleichung	4	Schalenmodell	17
Gesamtwirkungsgrad	7	Spannungsteiler	15
Geschwindigkeit	5, 6, 12	Spezifische Wärmekapazität	11
Gewichtskraft	5	Statischer Druck	13
Gleichmäßig beschleunigte Bewegung	5	Steigung	4
Hubleistung	6	Stoffmenge	17, 18, 24
Hydraulische Leistung	6	Stoffmengenkonzentration	20, 22
Hydrostatische Waage	9	Stoffmengenstrom	18
Hydrostatischer Druck	7	Stoffmengenverhältnis	23

Strömungsgeschwindigkeit	12, 13	Volumenausdehnung	10
Temperatur	9	Volumenkonzentration	20
Titer	24	Volumenstrom	6, 12, 13
Titration	24	Wärmebilanz	11
Trocknen	22	Wärmemenge	11
U-Rohr-Manometer	8	Wärmestrom	11
Überdruck	7	Wassergehalt	22
Ultraschall-Füllstandmessung	17	Widerstand, elektrischer	14, 15
Umfang	2	Widerstand, temperaturabhängiger	14
Umsatzgrad	23	Wirkungsgrad	7
Verdampfungswärme	11	Würfel	3, 4
Verdünnen	21	Zerkleinerungsgrad	9
Verlustleistung	7	Zustandsänderung von Gasen	19
Volumen	3	Zylinder	3, 4