

1. EINLEITUNG

Keine Formeln

2. FLIEßBILDER

Keine Formeln

3. SICHERHEITSTECHNIK LABOR

Keine Formeln

4. EINHEITEN UND GRÖßEN

Dichte ρ

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

Spezifisches Volumen v

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} = \frac{V_m}{M}$$

Druck p

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

Schweredruck

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

Internationale Höhenformel

$$p = 1013,25 \text{ hPa} \cdot \left(1 - \frac{h \cdot 0,00651}{288 \text{ m}}\right)^{5,255}$$

Konzentration**Anteil****Verhältnis****Stoffmenge**

$$c(A) = \frac{n(A)}{V(\text{Gemisch})}$$

$$\chi(A) = \frac{n(A)}{n(A)+n(B)}$$

$$R(A) = \frac{n(A)}{n(B)}$$

Masse

$$\beta(A) = \frac{m(A)}{V(\text{Gemisch})}$$

$$w(A) = \frac{m(A)}{m(A)+m(B)}$$

$$\zeta(A) = \frac{m(A)}{m(B)}$$

Volumen

$$\sigma(A) = \frac{V(A)}{V(\text{Gemisch})}$$

$$\varphi(A) = \frac{V(A)}{V(A)+V(B)}$$

$$\psi(A) = \frac{V(A)}{V(B)}$$

Molalität b

$$b(A) = \frac{n(A)}{m(LM)}$$

Stoffmengenkonzentration → Massenkonzentration

$$c(A) = \frac{\beta(A)}{M(A)}$$

$$\beta(A) = c(A) \cdot M(A)$$

Massenkonzentration → Massenanteil

$$\beta(A) = w(A) \cdot \rho(\text{ges})$$

$$w(A) = \frac{\beta(A)}{\rho(\text{ges})}$$

5. F Ö R D E R T E C H N I K

Volumenstrom

$$\dot{V} = \frac{V}{t} = \frac{A \cdot l}{t} = A \cdot v \qquad v = \frac{\dot{V}}{A}$$

Kontinuitätsgleichung

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

Energieerhaltungssatz

$$E_{ges} = E_{pot} + E_{stat} + E_{dyn}$$

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h$$

$$E_{stat} = p_{stat} \cdot V$$

$$E_{dyn} = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{\rho V \cdot v^2}{2}$$

Bernoulligleichung

$$p_{ges} = p_{stat1} + p_{dyn1} = p_{stat2} + p_{dyn2} \quad \text{wenn } h = \text{konst}$$

$$p_{stat1} + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_{stat2} + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

Viskosität

$$\eta = \rho \cdot \nu$$

Reynoldszahl

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d_i}{\eta} = \frac{v \cdot d_i}{\nu}$$

Druckverlust bei Rohrleitungen

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l}{d_i} \cdot \frac{\rho v^2}{2}$$

Druckverlust bei Rohrveränderungen

$$Z = \xi \cdot \frac{\rho v^2}{2}$$

$$Z_{ges} = \sum_i Z_i$$

$$\Delta p_{ges} = \Delta p + Z_{ges} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_i} + \sum_i \xi_i \right) \cdot \frac{\rho v^2}{2}$$

6. AGGREGATZUSTÄNDE

Keine Formeln

7. IDEALE GASE (DÜNNE GASE)

Gesetz von Boyle-Mariotte

$$p \cdot V = \text{konst.}$$

bei $T = \text{konst.}$

Gesetz von Amontons

$$\frac{p}{T} = \text{konst.}$$

bei $V = \text{konst.}$

Gesetz von Gay-Lussac

$$\frac{V}{T} = \text{konst.}$$

bei $p = \text{konst.}$

Individuelle Zustandsgleichung der i.G.

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{konst.}$$

Allgemeine Zustandsgleichung der i.G.

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

$$p \cdot V = m \cdot R_S \cdot T$$

$$R_S = \frac{R \cdot n}{m} = \frac{R}{M}$$

Molares Volumen der idealen Gase

$$V_m = 22,4141 \frac{\text{L}}{\text{mol}}$$

bei Normbedingungen

Allgemeine Gaskonstante R

$$R = 8,3145 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 8,3145 \frac{\text{kPa} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

8. REALE GASE

Van-der-Waals-Zustandsgleichung

$$\left(p + \frac{a \cdot n^2}{V^2}\right) \cdot (V - n \cdot b) = n \cdot R \cdot T$$

Druck-Korrektur

Volumen-Korrektur

$$p_B = \frac{a \cdot n^2}{V^2} V_{id} = V - n \cdot b$$

Redlich-Kwong-Zustandsgleichung

$$p = \frac{R \cdot T}{V_m - b} - \frac{a}{\sqrt{T}} \cdot \frac{1}{V_m \cdot (V_m + b)}$$

Virial-Zustandsgleichung

$$p = R \cdot T \cdot \left[\frac{1}{V_m} + \frac{B(T)}{V_m^2} + \dots \right]$$

Kompressionsfaktor

$$Z = \frac{V_m}{V_m^{ideal}}$$

Boyle-Temperatur

$$T_B = \frac{a}{R \cdot b}$$

Kritischer Punkt

$$\frac{p_c \cdot V_{m,c}}{T_c} = \frac{3}{8} \cdot R$$

$$V_{m,c} = 3 \cdot b$$

$$T_c = \frac{8 \cdot a}{27 \cdot b \cdot R}$$

$$p_c = \frac{a}{27 \cdot b^2}$$

$$\rho_c = \frac{M}{V_{m,c}}$$

Joule-Thomson-Koeffizient μ

Isothermer Joule-Thomson-Koeffizient μ_T

$$\mu = \left(\frac{dT}{dp} \right)_H$$

$$\mu_T = \left(\frac{dH}{dp} \right)_T = -c_p \cdot \mu$$

Inversionstemperatur T_i

$$T_i \approx 10 \cdot T_m \approx 2 \cdot T_B = \frac{2 \cdot a}{R \cdot b} = \frac{27 \cdot T_c}{4}$$

9. KINETISCHE GASTHEORIE

Kapitel in Arbeit

10. FLÜSSIGKEITEN

Dampfdruckgleichung von August

$$\log p = A - \frac{B}{T}$$

Dampfdruckgleichung von Antoine

$$\log p = A - \frac{B}{C+T} \qquad \ln p = A - \frac{B}{C+T}$$

Dampfdruckgleichung von Clausius und Clapeyron

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = - \frac{\Delta H_{m,v}}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

Internationale Dampfdruckformel für Wasser

$$p_B = p_K \cdot e^W$$

$$W = \frac{A_1}{\varphi^{A_2}} - A_3$$

$$\varphi = \frac{T_B}{T_K}$$

$$A_1 = k_1(1 - \varphi) + k_2(1 - \varphi)^2 + k_3(1 - \varphi)^3 + k_4(1 - \varphi)^4 + k_5(1 - \varphi)^5$$

$$A_2 = 1 + k_6(1 - \varphi) + k_7(1 - \varphi)^2 \qquad A_3 = \frac{1 - \varphi}{6 + k_8(1 - \varphi)^2}$$

$$k_1 = -7,691234564$$

$$k_2 = -26,08023696$$

$$k_3 = -168,1706546$$

$$k_4 = 64,23285505$$

$$k_5 = -118,9646225$$

$$k_6 = 4,16711732$$

$$k_7 = 20,9750676$$

$$k_8 = 1\,000\,000\,000$$

kritischen Daten:

$$p_K = 221,2 \text{ bar}$$

$$T_K = 647,3 \text{ K} (= 374,15 \text{ °C})$$

Regel von Trouton

Regel von Guldberg

$$\Delta S_{m,v} = \frac{\Delta H_{m,v}}{T_b} \approx 88 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$\frac{T_b}{T_c} \approx \frac{2}{3}$$

Druckabhängigkeit des Schmelzpunktes

$$\frac{\Delta T}{\Delta p} = \frac{V_L - V_S}{\Delta H_{m,s}}$$

1 1 . F E S T K Ö R P E R

Sublimation

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = - \frac{\Delta H_{m,sub}}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

Sublimationsenthalpie

$$\Delta H_{m,sub} = \Delta H_{m,s} + \Delta H_{m,v}$$

1 2 . G R E N Z F L Ä C H E N P H E N O M Ä N E

Kapitel in Arbeit

1 3 . M I S C H P H A S E N

Phasengesetz von Gibbs

$$P + F = K + 2$$

Gesetz von Dalton

$$V = \sum V_i$$

$$p = \sum p_i$$

$$p \cdot V = \sum n_i \cdot R \cdot T$$

$$x_i = \frac{n_i}{\sum n_i} = \frac{p_i}{p} = \frac{V_i}{V}$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{x_1}{x_2} = \frac{\varphi_1}{\varphi_2}$$

Mittlere molare Masse einer Gasmischung

$$\bar{M} = \sum x_i \cdot M_i$$

Raoult'sches Gesetz

$$p = x_1 \cdot p_0$$

Relative Feuchte

Absolute Feuchte

$$\varphi = \frac{p_D}{p_S} \left(= \frac{V_D}{V_{Dmax}} = \frac{n_D}{n_{Dmax}} = \frac{x_D}{x_{Dmax}} \right) = \frac{m_D}{m_{Dmax}}$$

$$X = \frac{m_D}{m_T} = \frac{m_D}{m_G - m_D}$$

Umrechnung Relative Feuchte → Absolute Feuchte

$$X = \frac{M_D \cdot \varphi p_S}{M_T \cdot (p_G - \varphi p_S)} = \frac{R_T \cdot \varphi p_S}{R_D \cdot (p_G - \varphi p_S)}$$

Bestimmung der molaren Masse nach Victor Meyer

$$M = \frac{m \cdot R \cdot T}{(p_L - p_W - p_{hydr}) \cdot V}$$

Dampfdruckerniedrigung**Bestimmung der molaren Masse**

$$\frac{\Delta p}{p_0} = \frac{n_2}{n_1 + n_2} = x_2$$

$$M(\text{Probe}) = \frac{m(\text{Probe}) \cdot p(\text{Lsg})}{N(\text{LM}) \cdot \Delta p}$$

Osmose**Bestimmung der molaren Masse**

$$\Pi = c \cdot R \cdot T$$

$$M(\text{Probe}) = \frac{m(\text{Probe}) \cdot R \cdot T}{\Pi V(\text{Lsg})}$$

Siedepunktserhöhung**Bestimmung der molaren Masse**

$$\Delta T_b = K_E \cdot b$$

$$M(\text{Probe}) = K_E \cdot \frac{m(\text{Probe})}{\Delta T_b \cdot m(\text{LM})}$$

Gefrierpunktserniedrigung**Bestimmung der molaren Masse**

$$\Delta T_m = K_K \cdot b$$

$$M(\text{Probe}) = K_K \cdot \frac{m(\text{Probe})}{\Delta T_m \cdot m(\text{LM})}$$

Ebullioskopische Konstante**Kryoskopische Konstante**

$$K_E = \frac{R \cdot T_b^2 \cdot M(\text{LM})}{\Delta H_{m,v}}$$

$$K_K = \frac{R \cdot T_m^2 \cdot M(\text{LM})}{\Delta H_{m,s}}$$

Schwache Elektrolyte

$$i = 1 + \alpha \cdot (v - 1)$$

Siedepunktserhöhung

$$\Delta T_b = K_E \cdot b \cdot i$$

Osmotischer Druck

$$\Pi = c \cdot R \cdot T \cdot i$$

Gefrierpunktserniedrigung

$$\Delta T_m = K_K \cdot b \cdot i$$

14. PHASENGLEICHGEWICHTE

Verteilungssatz von Nernst

$$K = \frac{a_1(A)}{a_2(A)}$$

Wird die Extraktion z-fach wiederholt, so findet man in der Raffinatphase die Stoffmenge:

$$n_Z(R) = n \cdot \left(\frac{V(R)}{K \cdot V(E) + V(R)} \right)^Z$$

LogP-Wert

$$\text{Log}P = \text{Log } P = \log K_{OW} = \log \frac{c_o}{c_w}$$

Henrysches Gesetz

$$c_1 = A \cdot p_1$$

Henry–Daltonsches Gesetz

$$c_i = A_i \cdot p_i$$

Bunsenscher Absorptionskoeffizient

$$V_0(X) = \alpha \cdot V_L \cdot \frac{p(X)}{p_0}$$

Verteilung zwischen der festen Phase und der Lösung

$$a(\text{Lösung}) = K$$

Löslichkeitsprodukt

$$K_L = c(K)^X \cdot c(A)^Y$$

Langmuirsche Adsorptionsisotherme

$$\Theta = \frac{b}{b_{\max}} = \frac{n_B}{n_{B, \text{mono}}} = \frac{m_B}{m_{B, \text{mono}}}$$

$$\Theta = \frac{K \cdot p_i}{1 + K \cdot p_i}$$

$$\Theta = \frac{p_i}{k + p_i}$$

$$\Theta = \frac{K \cdot c_i}{1 + K \cdot c_i}$$

$$\Theta = \frac{c_i}{k + c_i}$$

Freundlichsche Adsorptionsisotherme

$$q = \frac{m(\text{Adsorbtiv})}{m(\text{Adsorbens})}$$

$$q = \frac{n(\text{Adsorbtiv})}{m(\text{Adsorbens})}$$

$$q = \Theta = \frac{b}{b_{\max}} = \frac{n_B}{n_{B, \text{mono}}} = \frac{m_B}{m_{B, \text{mono}}}$$

$$q = \alpha \cdot p_i^\beta$$

$$q = \alpha \cdot c_i^\beta$$

Dampfdruckkurve LINEAR

$$p_M = x_A \cdot p_{0,A} + (1 - x_A) \cdot p_{0,B}$$

Dampfdruckkurve mit Minimum und Maximum

$$p_A = x_A \cdot p_{0,A} \cdot f_A$$

$$p_B = x_B \cdot p_{0,B} \cdot f_{AB}$$

Komponenten nicht mischbar

$$p_M = p_{0,A} + p_{0,B}$$

Dampfzusammensetzung Wasserdampfdestillation

$$\frac{p_{01}}{p_{02}} = \frac{n_1}{n_2}$$

Trennfaktor - relative Flüchtigkeit

$$\alpha = \frac{p_{0,A}}{p_{0,B}}$$

Gleichung der Gleichgewichtskurve

$$y_A = \frac{x_A \cdot \alpha}{x_A \cdot (\alpha - 1) + 1}$$

Konodenregel

$$n_\alpha \cdot l_\alpha = n_\beta \cdot l_\beta$$

$$x\text{-Achse: } x l_\alpha \cdot (x_m - x_\alpha) = n_\beta \cdot (x_\beta - x_m)$$

$$x\text{-Achse: } w l_\alpha \cdot (w_m - w_\alpha) = n_\beta \cdot (w_\beta - w_m)$$

15. ELEKTROCHEMIE**Kapitel in Arbeit****16. EXTRAKTION****Kapitel in Arbeit****17. TROCKNUNG****Kapitel in Arbeit**

18. THERMODYNAMIK EINLEITUNG

Keine Formeln

19. THERMODYNAMIK WÄRMELEHRE

Thermische Längenänderung

$$l_T = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

Thermische Volumenänderung

$$V_T = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta T)$$

Temperaturabhängigkeit der Dichte

$$\rho_T = \frac{\rho_0}{(1 + \gamma \cdot \Delta T)}$$

Erwärmen und Abkühlen

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q = n \cdot c_{m,p} \cdot \Delta T$$

$$Q = n \cdot c_{m,v} \cdot \Delta T$$

Schmelzen

Verdampfen

$$Q_S = \Delta H_S = m \cdot \Delta h_s = n \cdot \Delta H_{m,s}$$

$$Q_V = \Delta H_V = m \cdot \Delta h_v = n \cdot \Delta H_{m,v}$$

Wärmemischungsgleichung

$$\sum Q = 0$$

bei idealen Gasen

$$c_{m,p} = c_{m,v} + R$$

Molekulare Interpretation der Wärmekapazität

Einatomiges Gas

$$c_{m,v} = \frac{3}{2} \cdot R \left(= 12,47 \frac{J}{mol \cdot K} \right) \quad c_{m,p} = \frac{5}{2} \cdot R \left(= 20,79 \frac{J}{mol \cdot K} \right)$$

Zweiatomiges Gas (rot+trans)

$$c_{m,v} = \frac{3}{2} \cdot R + \frac{2}{2} \cdot R = \frac{5}{2} \cdot R \left(= 20,79 \frac{J}{mol \cdot K} \right)$$

Schwingungen bei zweiatomigen Molekülen

$$\varepsilon_{OSZ} = k \cdot T$$

$$\varepsilon_{ges} = \varepsilon_{trans} + \varepsilon_{rot} + \varepsilon_{OSZ} = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T + \frac{2}{2} \cdot k \cdot T + k \cdot T = \frac{7}{2} \cdot k \cdot T$$

Drei- und mehratomige Moleküle

$$\text{lineares Molekül:} \quad (3 \cdot n - 5) \text{ Grundschnwingungen}$$

$$\text{nichtlineares Molekül:} \quad (3 \cdot n - 6) \text{ Grundschnwingungen}$$

Verhältnis der molaren Wärmekapazitäten

$$\kappa = \frac{c_{m,p}}{c_{m,v}}$$

$$\text{eiatomige Gase:} \quad \kappa = \frac{c_{m,p}}{c_{m,v}} = \frac{\frac{5}{2}R}{\frac{3}{2}R} = \frac{5}{3} = 1,66$$

$$\text{zweiatomige Gase:} \quad \kappa = \frac{c_{m,p}}{c_{m,v}} = \frac{\frac{7}{2}R}{\frac{5}{2}R} = \frac{7}{5} = 1,40$$

$$\text{dreiatomige Gase:} \quad \kappa = \frac{c_{m,p}}{c_{m,v}} = \frac{\frac{8}{2}R}{\frac{6}{2}R} = \frac{8}{6} = 1,33$$

Festkörper

$$c_{m,p} = c_{m,v} = 3 \cdot R \approx 25 \frac{J}{mol \cdot K}$$

Kompliziertere Moleküle

$$c_{m,p} = a + b \cdot T + c \cdot T^2$$

Gasmischungen

$$\bar{c}_{m,p} = \sum x_i \cdot \bar{c}_{m,p,i}$$

Festkörper

$$c_{m,v} = a \cdot \left(\frac{T}{\Theta}\right)^3 \quad \Theta \dots \text{Theta}$$

Regel von Dulong-Petit

$$c_{m,p} = c_{m,v} = 3 \cdot R \approx 25 \frac{J}{mol \cdot K}$$

20. THERMODYNAMIK 1. HAUPTSATZ

1. Hauptsatz der Thermodynamik

$$dU = dQ + dW$$

Das totale Differential

$$dz = \frac{\partial z}{\partial x} \cdot dx + \frac{\partial z}{\partial y} \cdot dy \qquad dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V \cdot dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T \cdot dV$$

Joule–Thomson-Koeffizient μ

$$\mu = \frac{dT}{dp} \qquad \mu_T = \left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_T = -\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p \cdot \frac{dT}{dp} = -c_p \cdot \mu$$

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = T \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V - p$$

Isotherme Zustandsänderung

Expansion gegen einen konstanten Druck

$$dW = -p \cdot dV$$

$$W = -p \cdot \Delta V$$

Isotherme reversible Volumenarbeit

$$W = -n \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{V_E}{V_A}$$

$$W = -n \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{p_A}{p_E}$$

Isochore Zustandsänderung

$$Q = n \cdot \overline{c_{m,v}} \cdot \Delta T$$

$$Q = n \cdot \int_{T_1}^{T_2} c_{m,v} \cdot dT$$

Isobare Zustandsänderung

$$Q = n \cdot \overline{c_{m,p}} \cdot \Delta T$$

$$Q = n \cdot \int_{T_1}^{T_2} c_{m,p} \cdot dT$$

Enthalpie H

$$dQ = dU + p \cdot dV$$

$$dH = dU + p \cdot dV$$

$$H = U + p \cdot V$$

$$dH = dQ$$

$$Q = \Delta H = n \cdot \int_{T_1}^{T_2} c_{m,p} \cdot dT$$

$$\Delta H = n \cdot \int_{T_1}^{T_U} c_{m,p} \cdot dT + \Delta H_U + n \cdot \int_{T_U}^{T_2} c_{m,p} \cdot dT$$

Die Enthalpie als Zustandsfunktion

$$dH = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p \cdot dT + \left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_T \cdot dp$$

Temperaturkoeffizient der Enthalpie

$$c_{m,p} = \left(\frac{\partial H_m}{\partial T}\right)_p$$

Reales Gas

$$c_{m,p} = c_{m,v} + \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p \cdot \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + p\right]$$

Gegenüberstellung von U und H

$$U = f(V, T)$$

$$H = f(p, T)$$

$$\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_V = n \cdot c_{m,v}$$

$$\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p = n \cdot c_{m,p}$$

$$\Delta U = n \cdot \int_{T_1}^{T_2} c_{m,v} \cdot dT$$

$$\Delta H = n \cdot \int_{T_1}^{T_2} c_{m,p} \cdot dT$$

bei idealen Gasen

$$c_{m,p} = c_{m,v} + R$$

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = 0$$

$$\left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_T = 0$$

bei realen Gasen

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = \frac{a \cdot n^2}{V^2} = p_B \neq 0$$

$$\left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_T \neq 0$$

Adiabatische Zustandsänderung**Poisson-Gleichungen**

$$p \cdot V^\kappa = \text{konst.}$$

$$T \cdot V^{(\kappa-1)} = \text{konst.}$$

$$p^{(1-\kappa)} \cdot T^\kappa = \text{konst.}$$

Adiabatische reversible Arbeit

$$W = n \cdot c_{m,v} \cdot T_1 \cdot \left(\left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{(\kappa-1)} - 1 \right)$$

$$W = n \cdot c_{m,v} \cdot T_1 \cdot \left(\left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\left(\frac{1-\kappa}{\kappa} \right)} - 1 \right)$$

$$W = \frac{1}{\kappa-1} \cdot (p_2 \cdot V_2 - p_1 \cdot V_1)$$

Polytrope Zustandsänderung

$$p \cdot V^m = konst.$$

$$T \cdot V^{(m-1)} = konst.$$

$$p^{(1-m)} \cdot T^m = konst.$$

$$W = n \cdot \frac{R}{m-1} \cdot T_1 \cdot \left(\left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{(m-1)} - 1 \right)$$

$$W = n \cdot \frac{R}{m-1} \cdot T_1 \cdot \left(\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\left(\frac{m-1}{m} \right)} - 1 \right)$$

Energieumsatz bei chemischen Reaktionen**Reaktionswärme**

$$\xi_i = \frac{n_i}{\nu_i}$$

$$\Delta H_r^0 = \xi \cdot \Delta H_{m,r}^0$$

$$\Delta U_r^0 = \xi \cdot \Delta U_{m,r}^0$$

$$\Delta H_r = \Delta U_r + \Delta n \cdot R \cdot T$$

$$\Delta H_{m,r} = \Delta U_{m,r} + \Delta \nu \cdot R \cdot T$$

$$\Delta n = \sum_{Produkte} n_i - \sum_{Edukte} n_i$$

$$\Delta \nu = \sum_{Produkte} \nu_i - \sum_{Edukte} \nu_i$$

Satz von Heß

$$\Delta H_B = \sum_{Elemente} \Delta H_r - \sum_{Verbindungen} \Delta H_r$$

Reaktionsenthalpie – Bildungsenthalpie - Bildungsenergie

$$\Delta H_{m,r}^0 = \sum_{Produkte} \nu \cdot \Delta H_{m,B}^0 - \sum_{Edukte} \nu \cdot \Delta H_{m,B}^0$$

$$\Delta U_{m,r}^0 = \sum_{Produkte} \nu \cdot \Delta U_{m,B}^0 - \sum_{Edukte} \nu \cdot \Delta U_{m,B}^0$$

Temperaturabhängigkeit der Reaktionsenthalpie und Reaktionsenergie

$$\frac{\partial \Delta H_{m,r}}{\partial T} = \sum_{\text{Produkte}} \nu \cdot c_{m,p} - \sum_{\text{Edukte}} \nu \cdot c_{m,p}$$

$$\Delta c_{m,p} = \sum_{\text{Produkte}} \nu \cdot c_{m,p} - \sum_{\text{Edukte}} \nu \cdot c_{m,p}$$

$$\Delta H_{m,r}(T_2) = \Delta H_{m,r}(T_1) - \Delta H_{\text{Erwärmen}}(\text{Edukte}) + \Delta H_{\text{Abkühlen}}(\text{Produkte})$$

$$\frac{\partial \Delta U_{m,r}}{\partial T} = \sum_{\text{Produkte}} \nu \cdot c_{m,v} - \sum_{\text{Edukte}} \nu \cdot c_{m,v}$$

Satz von Kirchhoff

$$\Delta H_{m,r}(T_2) = \Delta H_{m,r}(T_1) + \int_{T_1}^{T_2} (\sum_{\text{Produkte}} \nu \cdot c_{m,p} - \sum_{\text{Edukte}} \nu \cdot c_{m,p}) \cdot dT$$

$$\Delta U_{m,r}(T_2) = \Delta U_{m,r}(T_1) + \int_{T_1}^{T_2} (\sum_{\text{Produkte}} \nu \cdot c_{m,v} - \sum_{\text{Edukte}} \nu \cdot c_{m,v}) \cdot dT$$

Schmelzen

$$Q_s = \Delta H_s = n \cdot \Delta H_{m,s}$$

Verdampfen

$$\Delta H_{m,v} = \Delta U_{m,v} + p \cdot (V_{m,\text{Dampf}} - V_{m,\text{Flüssigkeit}})$$

Verdampfungswärme Q_v und Verdampfungsenthalpie $\Delta H_{m,v}$

$$Q_v = \Delta H_v = n \cdot \Delta H_{m,v}$$

Sublimieren

$$\Delta H_{m,\text{subl.}} = \Delta H_{m,s} + \Delta H_{m,v}$$

Enthalpieänderung in Lösungen**Neutralisationsenthalpie**

$$\Delta H_{r,N} = \xi \cdot \Delta H_{m,r,N}$$

Lösungsenthalpie

$$\Delta H_{m,L} = \Delta H_{m,G} + \Delta H_{m,H} \qquad \Delta H_L = n \cdot \Delta H_{m,L}$$

$$\Delta H_{m,L}^0(\text{MeX}) = \Delta H_{m,B}^0(\text{MeX}, aq) - \Delta H_{m,B}^0(\text{MeX}, s)$$

$$\Delta H_{m,B}^0(H^+, aq) = 0,000 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

21. THERMODYNAMIK 2. HAUPTSATZ

2. Hauptsatz der Thermodynamik

$\Delta S \geq 0$	$dS' = \frac{dQ'}{T}$
$\Delta S = \int_{T_A}^{T_E} \frac{dQ_{rev}}{T}$	$\oint dS = \oint \frac{dQ_{rev}}{T} = 0$

Statistische Definition der Entropie

$S = k \cdot \ln W$

Temperaturabhängigkeit der Entropie

<i>Für $p = \text{konst.}$</i>	$S(T_E) = S(T_A) + n \cdot \int_{T_A}^{T_E} \frac{c_{m,p} \cdot dT}{T}$
<i>Für $V = \text{konst.}$</i>	$S(T_E) = S(T_A) + n \cdot \int_{T_A}^{T_E} \frac{c_{m,v} \cdot dT}{T}$

Schmelzentropie

Verdampfungsentropie

$\Delta S_{m,s} = \frac{\Delta H_{m,s}}{T_m}$	$\Delta S_{m,v} = \frac{\Delta H_{m,v}}{T_b}$
---	---

Regel von Pictet–Trouton (für unpolare Moleküle)

$\Delta S_{m,v} = \frac{\Delta H_{m,v}}{T_b} \approx 88 \frac{J}{\text{mol} \cdot K}$

Reaktionsentropie

$\Delta S_{m,r}^0 = \sum_P \nu \cdot S_m^0 - \sum_E \nu \cdot S_m^0$
--

Isochore Zustandsänderung

Isobare Zustandsänderung

$\Delta S = n \cdot c_{m,v} \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}$	$\Delta S = n \cdot c_{m,p} \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}$
--	--

Isotherme Zustandsänderung

$\Delta S = n \cdot R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$	$\Delta S = n \cdot R \cdot \ln \frac{p_1}{p_2}$
--	--

Mischungsentropie von idealen Gasen

$\Delta \bar{S}_{m,M}(A) = -R \cdot \ln x(A)$

Thermodynamisches Potential

$$\Delta G_r = \Delta H_r - T \cdot \Delta S_r$$

Gibbs – Helmholtz'sche Gleichungen

$$G = H - T \cdot S = H + T \cdot \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_p \quad F = U - T \cdot S = U + T \cdot \left(\frac{\partial F}{\partial T} \right)_V$$

$$dU = T \cdot dS - p \cdot dV \quad dH = T \cdot dS + V \cdot dp$$

$$dF = -S \cdot dT - p \cdot dV \quad dG = -S \cdot dT + V \cdot dp$$

Thermodynamische Zustandsgleichung

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T = T \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V - p \quad \left(\frac{\partial H}{\partial p} \right)_T = -T \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p + V$$

Chemisches Potential

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial p} \right)_{T,n(A),n(B)} \cdot dp + \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_{p,n(A),n(B)} \cdot dT + \left(\frac{\partial G}{\partial n(A)} \right)_{p,T,n(B)} \cdot dn(A) + \left(\frac{\partial G}{\partial n(B)} \right)_{p,T,n(A)} \cdot dn(B)$$

Druckkoeffizient des thermodynamischen Potentials**Temperaturkoeffizient**

$$\left(\frac{\partial G}{\partial p} \right)_T = V$$

$$\left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_p = -S$$

Chemisches Potential

$$\mu_i = \left(\frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{p,T,n_j \neq n_i}$$

Ideale Gase und ideale Gasmischungen**Ideales Gas (Reinstoff)**

$$\mu = G_m = H_m - T \cdot S_m$$

$$\mu = \mu_0(T) + R \cdot T \cdot \ln \frac{p}{p_0}$$

Ideale Gasmischung

$$\mu_i = \mu_{0,i}(T) + R \cdot T \cdot \ln \frac{p_i}{p_0}$$

$$\mu_i = \mu'_{0,i}(p, T) + R \cdot T \cdot \ln x_i$$

Ideale Mischphasen

$$d\mu(A) = \left(\frac{\partial \mu(A)}{\partial p} \right)_{T, x(A), x(B)} \cdot dp + \left(\frac{\partial \mu(A)}{\partial T} \right)_{p, x(A), x(B)} \cdot dT + \left(\frac{\partial \mu(A)}{\partial x(A)} \right)_{p, T, x(B)} \cdot dx(A)$$

$$d\mu(A) = V_m(A) \cdot dp - S_m(A) \cdot dT + \frac{R \cdot T}{x(A)} \cdot dx$$

Reale Mischphasen

$$\mu_i = \mu_{0,i}(T) + R \cdot T \cdot \ln \frac{a_i}{a_0}$$

Gibbs – Duhemsche Gleichung

$$x(A) \cdot \frac{1}{a(A)} \cdot da(A) + x(B) \cdot \frac{1}{a(B)} \cdot da(B) = 0$$

22. THERMODYNAMISCHE GLEICHGEWICHTE

Gleichgewicht zwischen der Gasphase und der flüssigen Phase

$$(V_{m,g} - V_{m,l}) \cdot dp = \frac{\Delta H_{m,v}}{T} \cdot dT$$

Dampfdruck einer Flüssigkeit, die unter dem zusätzlichen äußeren Druck p_a steht:

$$\ln \frac{p}{p_0} = \frac{V_{m,l}}{R \cdot T} \cdot p_a$$

Gleichgewicht zwischen der festen und der flüssigen Phase

$$\frac{dT}{dp} = \frac{(V_{m,l} - V_{m,s})}{\Delta H_{m,s}} \cdot T_m$$

Chemische Gleichgewichte

$$K = \prod a_i^{\nu_i} \qquad \Delta G_{m,r} = -R \cdot T \cdot \ln K$$

Umrechnung der Gleichgewichtskonstanten

$$\Delta \nu = \sum_{\text{Prod.}} \nu - \sum_{\text{Ed.}} \nu$$

$$K_p = K \cdot K_p^0 = K \cdot (p^0)^{\Delta \nu} \qquad K_x = K \cdot \left(\frac{p^0}{p_{\text{ges}}} \right)^{\Delta \nu} \qquad K_c = K \cdot K_c^0 = K \cdot (c^0)^{\Delta \nu}$$

Druckabhängigkeit der Gleichgewichtskonstante

$$\left(\frac{\partial \ln K}{\partial p} \right)_T = - \frac{\Delta V_m}{R \cdot T}$$

Temperaturabhängigkeit der Gleichgewichtskonstante

$$\left(\frac{\partial \ln K}{\partial T} \right)_p = \frac{\Delta H_{m,r}}{R \cdot T^2}$$

Van't Hoffsche Reaktionsisobare

$$\left(\frac{\partial \ln K}{\partial T} \right)_V = \frac{\Delta U_{m,r}}{R \cdot T^2}$$

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = - \frac{\Delta H_{m,r}}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

23. KREISPROZESSE

Rechtsläufige Kreisprozesse

Carnot-Prozess

$$\Delta W = - \oint T \cdot dS = - n \cdot R \cdot (T_{12} - T_{34}) \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_{12}}{T_{34}}$$

2 Isentropen, 2 Isothermen

Otto-Kreisprozess

Verbrennungsmotor, Offener Kreisprozess

2 Isentropen, 2 Isochoren

$$\varepsilon = \frac{V_{41}}{V_{23}} > 1$$

Verdichtungsverhältnis

Diesel-Kreisprozess

Verbrennungsmotor, Offener Kreisprozess

2 Isentropen, 1 Isochore, 1 Isobare

$$\varepsilon = \frac{V_{41}}{V_2} > 1$$

Verdichtungsverhältnis

$$\varphi = \frac{V_3}{V_2} > 1$$

Einspritzverhältnis, Volldruckverhältnis

Seilinger-Kreisprozess

Verbrennungsmotor, Offener Kreisprozess

2 Isentropen, 2 Isochoren, 1 Isobare

$$\varepsilon = \frac{V_{51}}{V_{23}} > 1$$

Verdichtungsverhältnis

$$\phi = \frac{V_4}{V_{23}} > 1$$

Verbrennungsvolumenverhältnis

$$\psi = \frac{p_{34}}{p_2} > 1$$

(Verbrennungs-)Druckverhältnis

Stirling-Kreisprozess

Motor mit äußerer Wärmezufuhr, Geschlossener Kreisprozess

2 Isothermen, 2 Isochoren

$$\varepsilon = \frac{V_{41}}{V_{23}} > 1 \text{ Verdichtungsverhältnis}$$

Joule-Kreisprozess (Brayton Cycle)

Gasturbine, Strahltriebwerke, Offener oder geschlossener Kreisprozess

2 Isentropen, 2 Isobaren

Ericsson- oder Ackeret-Keller-Kreisprozess

Gasturbine, Geschlossener Kreisprozess

2 Isothermen, 2 Isobaren

Clausius-Rankine-Kreisprozess

Dampfkraftanlage, Geschlossener Kreisprozess mit Phasenänderung

2 Isentropen, 2 Isobaren

Linksläufige Kreisprozesse**Leistungszahl einer Kältemaschine**

$$\varepsilon_{KM} = \frac{Q_{zu}}{\Delta W} = \frac{Q_{ab}}{\Delta W} - 1$$

Leistungszahl einer Wärmepumpe

$$\varepsilon_{WP} = \frac{Q_{ab}}{\Delta W} = \frac{Q_{zu}}{\Delta W} + 1$$

24. REAKTOREN

Keine Formeln

25. WÄRME ÜBERTRAGUNG

Verbrennungswärme

$$Q = \eta \cdot H_u \cdot m$$

bzw

$$Q = \eta \cdot H_o \cdot m$$

Elektrischer Strom

$$Q = \eta \cdot W_{el} = \eta \cdot P \cdot t = \eta \cdot U \cdot I \cdot t$$

Wärmeleitung durch eine ebene Wand - Fouriersches Gesetz

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \dot{Q} = \frac{\lambda}{\Delta x} \cdot A \cdot \Delta T$$

$$R = \frac{\Delta x}{\lambda}$$

Wärmeleitung durch eine mehrschichtige Wand

$$R_{ges} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots = \frac{\Delta x_1}{\lambda_1} + \frac{\Delta x_2}{\lambda_2} + \frac{\Delta x_3}{\lambda_3} + \dots$$

$$\dot{Q} = \frac{1}{\frac{\Delta x_1}{\lambda_1} + \frac{\Delta x_2}{\lambda_2} + \frac{\Delta x_3}{\lambda_3}} \cdot A \cdot \Delta T$$

Wärmeleitung durch einfaches Rohr

$$\dot{Q} = \frac{\lambda \cdot 2 \cdot \pi \cdot l \cdot \Delta T}{\ln\left(\frac{r_a}{r_i}\right)} = \frac{d_a \cdot \pi \cdot l \cdot \Delta T}{\frac{d_a}{2} \cdot \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{d_a}{d_i}\right)} = \frac{1}{\frac{d_a}{2} \cdot \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{d_a}{d_i}\right)} \cdot A_a \cdot \Delta T$$

Wärmeleitung durch mehrschichtiges Rohr

$$\dot{Q} = \frac{1}{\frac{d_a}{2} \cdot \sum_{j=1}^n \frac{1}{\lambda_j} \cdot \ln\left(\frac{d_{j+1}}{d_j}\right)} \cdot A_a \cdot \Delta T$$

Wärmeleitung durch dünnwandiges Rohr

$$\dot{Q} = \frac{\lambda}{r_a - r_i} \cdot A \cdot \Delta T = \frac{\lambda}{r_a - r_i} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_m \cdot l \cdot \Delta T$$

$$r_m = \frac{r_a + r_i}{2}$$

Wärmeübergang/Wärmeübertragung

$$\dot{Q} = \alpha \cdot A \cdot \Delta T$$

Nußelt-Zahl

$$Nu = \frac{\alpha L}{\lambda_{(l)}} = \frac{\text{Konvektion}}{\text{Wärmeleitung}}$$

Charakteristische Länge L**Durchströmung**

$$L = d_H = \frac{4 \cdot A}{P}$$

Umströmung

$$L = \frac{A}{U}$$

Reynoldszahl

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot L}{\eta} = \frac{v \cdot L}{\nu}$$

Prandtl-Zahl

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\eta \cdot c_p}{\lambda_{(l)}}$$

$\alpha \dots$ Temperaturleitfähigkeit !!!

Viskositätsumrechnung

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

Laminare Strömung

$$Nu_d = \left[3,66^3 + 0,7^3 + \left(1,615 \cdot \left(Re_d \cdot Pr \cdot \frac{d}{h} \right)^{\frac{1}{3}} - 0,7 \right)^3 \right]^{\frac{1}{3}}$$

Turbulente Strömung (Gnielinski-Gleichung)

$$Nu = \frac{\frac{\xi}{8} Re \cdot Pr}{1 + 12,7 \cdot \sqrt{\frac{\xi}{8} (Pr^{\frac{2}{3}} - 1)}} \cdot \left[1 + \left(\frac{d}{h} \right)^{\frac{2}{3}} \right]$$

Druckverlust ξ für technisch raue Rohre:

$$\xi = (1,8 \cdot \log_{10}(Re) - 1,5)^{-2}$$

Gültigkeitsbereich der Gnielinski-Gleichung:

$$1000 < Re < 10^6$$

$$0,1 < Pr < 10^3$$

$\pm 10 \dots 15 \%$ Genauigkeit

$$0 < d / h < 1$$

Wärmedurchgang

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta T$$

Wärmedurchgangskoeffizient k

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\Delta x_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}$$

Wärmedurchgang durch eine ebene Wand

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\Delta x}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}$$

Wärmedurchgang durch eine mehrschichtige Wand

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{j=1}^n \frac{\Delta x_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_2}$$

Wärmedurchgang durch einfaches Rohr

$$\frac{1}{k_a} = \frac{1}{\alpha_i} \cdot \frac{d_a}{d_i} + \frac{d_a}{2} \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \left(\frac{d_a}{d_i} \right) + \frac{1}{\alpha_a}$$

$$\frac{1}{k_i} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_i}{2} \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \left(\frac{d_a}{d_i} \right) + \frac{1}{\alpha_a} \cdot \frac{d_i}{d_a}$$

Wärmedurchgang durch mehrschichtiges Rohr:

$$\frac{1}{k_a} = \frac{1}{\alpha_i} \cdot \frac{d_a}{d_i} + \frac{d_a}{2} \cdot \sum_{j=1}^n \frac{1}{\lambda_j} \cdot \ln \left(\frac{d_{j+1}}{d_j} \right) + \frac{1}{\alpha_a}$$

$$\frac{1}{k_i} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_i}{2} \cdot \sum_{j=1}^n \frac{1}{\lambda_j} \cdot \ln \left(\frac{d_{j+1}}{d_j} \right) + \frac{1}{\alpha_a} \cdot \frac{d_i}{d_a}$$

Wärmestrahlung

$$\dot{Q} = \alpha_S \cdot A_2 \cdot \Delta T$$

Stoffführung in Wärmetauschern - Mittlere logarithmische Temperaturdifferenz ΔT_m

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_{\text{groß}} - \Delta T_{\text{klein}}}{\ln \left(\frac{\Delta T_{\text{groß}}}{\Delta T_{\text{klein}}} \right)}$$

Ausgetauschter Wärmestrom

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta T_m$$

26. KINETIK

Definition der Reaktionsgeschwindigkeit

$$r_c = \pm \frac{1}{\nu_i} \cdot \frac{d c_i}{d t}$$

$$r_p = \pm \frac{1}{\nu_i} \cdot \frac{d p_i}{d t}$$

Potenzansatz

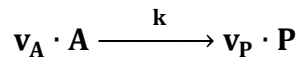
$$r = k \cdot c^m(A) \cdot c^n(B)$$

Reaktionsgeschwindigkeit und Reaktionsgeschwindigkeitskonstante bezogen auf einen Stoff

$$r_c(i) = \pm \frac{d c_i}{d t} = \nu_i \cdot r_c$$

$$k(i) = \nu_i \cdot k$$

Reaktionen 0. Ordnung



$$\nu_A = \nu_P = 1$$

allgemein

$$r_c = -\frac{1}{\nu_A} \cdot \frac{d c(A)}{d t} = k$$

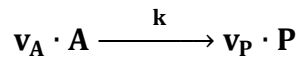
$$c(A) = c_0(A) - k \cdot t$$

$$c(A) = c_0(A) - \nu_A \cdot k \cdot t$$

$$t_{1/2} = \frac{c_0(A)}{2 \cdot k}$$

$$t_{1/2} = \frac{c_0(A)}{2 \cdot \nu_A \cdot k}$$

Reaktionen 1. Ordnung



$$\nu_A = \nu_P = 1$$

allgemein

$$r_c = -\frac{1}{\nu_A} \cdot \frac{d c(A)}{d t} = k \cdot c(A)$$

$$\ln \frac{c(A)}{c_0(A)} = -k \cdot t$$

$$\ln \frac{c(A)}{c_0(A)} = -\nu_A \cdot k \cdot t$$

$$c(A) = c_0(A) \cdot e^{-k \cdot t}$$

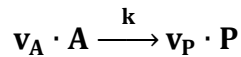
$$c(A) = c_0(A) \cdot e^{-\nu_A \cdot k \cdot t}$$

$$c(P) = c_0(A) \cdot (1 - e^{-k \cdot t})$$

$$c(P) = \frac{\nu_P}{\nu_A} \cdot c_0(A) \cdot (1 - e^{-\nu_A \cdot k \cdot t})$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\nu_A \cdot k}$$

Reaktionen 2. Ordnung

$$\nu_A = 2, \nu_P = 1$$

allgemein

$$r_c = -\frac{1}{\nu_A} \cdot \frac{d c(A)}{dt} = k \cdot c^2(A)$$

$$\frac{1}{c(A)} - \frac{1}{c_0(A)} = k(A) \cdot t$$

$$c(A) = \frac{c_0(A)}{1 + k(A) \cdot t \cdot c_0(A)}$$

$$c(P) = \frac{k(A) \cdot t \cdot c_0^2(A)}{1 + k(A) \cdot t \cdot c_0(A)}$$

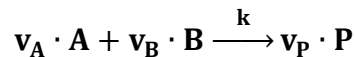
$$t_{1/2} = \frac{1}{k(A) \cdot c_0(A)}$$

$$\frac{1}{c(A)} - \frac{1}{c_0(A)} = \nu_A \cdot k \cdot t$$

$$c(A) = \frac{c_0(A)}{1 + \nu_A \cdot k \cdot t \cdot c_0(A)}$$

$$c(P) = \frac{\nu_P \cdot k \cdot t \cdot c_0^2(A)}{1 + \nu_A \cdot k \cdot t \cdot c_0(A)}$$

$$t_{1/2} = \frac{1}{\nu_A \cdot k \cdot c_0(A)}$$

Reaktionen 2. Ordnung

$$\nu_A = 1, \nu_B = 1, \nu_P = 1$$

allgemein

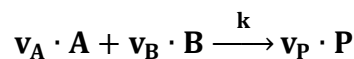
$$r_c = -\frac{1}{\nu_A} \cdot \frac{d c(A)}{dt} = -\frac{1}{\nu_B} \cdot \frac{d c(B)}{dt} = k \cdot c(A) \cdot c(B)$$

$$\frac{1}{c_0(A) - c_0(B)} \cdot \ln \left[\frac{c_0(B) \cdot c(A)}{c_0(A) \cdot c(B)} \right] = k \cdot t$$

$$\frac{1}{\nu_B \cdot c_0(A) - \nu_A \cdot c_0(B)} \cdot \ln \left[\frac{c_0(B) \cdot c(A)}{c_0(A) \cdot c(B)} \right] = k \cdot t$$

$$t_{1/2}(A) = \frac{1}{k \cdot (c_0(A) - c_0(B))} \cdot \ln \frac{c_0(B)}{2 \cdot c_0(B) - c_0(A)} \quad t_{1/2}(B) = \frac{1}{k \cdot (\nu_B \cdot c_0(A) - \nu_A \cdot c_0(B))} \cdot \ln \left[\frac{c_0(B)}{2 \cdot c_0(B) - \frac{\nu_B}{\nu_A} c_0(A)} \right]$$

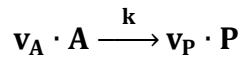
$$t_{1/2}(B) = \frac{1}{k \cdot (c_0(B) - c_0(A))} \cdot \ln \frac{c_0(A)}{2 \cdot c_0(A) - c_0(B)} \quad t_{1/2}(A) = \frac{1}{k \cdot (\nu_A \cdot c_0(B) - \nu_B \cdot c_0(A))} \cdot \ln \left[\frac{c_0(A)}{2 \cdot c_0(A) - \frac{\nu_A}{\nu_B} c_0(B)} \right]$$

Reaktionen 3. Ordnung

$$\nu_A = 1, \nu_B = 2, \nu_P = 1$$

$$r_c = -\frac{1}{\nu_A} \cdot \frac{d c(A)}{dt} = -\frac{1}{\nu_B} \cdot \frac{d c(B)}{dt} = k \cdot c(A) \cdot c^2(B)$$

$$\frac{2(c_0(A) - c(A))}{(2c_0(A) - 2c_0(B)) \cdot c(B) \cdot c_0(B)} + \frac{1}{(2c_0(A) - c_0(B))^2} \cdot \ln \left[\frac{c_0(B) \cdot c(A)}{c_0(A) \cdot c(B)} \right] = k \cdot t$$

Reaktionen n. Ordnung

$$\nu_A = 1, \nu_P = 1$$

allgemein

$$r_c = -\frac{1}{\nu_A} \cdot \frac{d c(A)}{dt} = k \cdot c^n(A)$$

$$k \cdot t = \frac{1}{(n-1)} \cdot \left(\frac{1}{c^{n-1}(A)} - \frac{1}{c_0^{n-1}(A)} \right) \qquad k \cdot t = \frac{1}{\nu_A \cdot (n-1)} \cdot \left(\frac{1}{c^{n-1}(A)} - \frac{1}{c_0^{n-1}(A)} \right)$$

Bestimmung der Reaktionsordnung - Reaktion 0. Ordnung:

$$c(A) = -k(A) \cdot t + c_0(A)$$

Bestimmung der Reaktionsordnung - Reaktion 1. Ordnung:

$$\rightarrow \ln c(A) = -k(A) \cdot t + \ln c_0(A)$$

Bestimmung der Reaktionsordnung - Reaktion 2. Ordnung:

$$\rightarrow \frac{1}{c(A)} = k(A) \cdot t + \frac{1}{c_0(A)}$$

Bestimmung der Reaktionsordnung - Reaktion n. Ordnung:

$$\rightarrow \frac{1}{c(A)^{n-1}} = k(A) \cdot t + \frac{1}{c_0(A)^{n-1}}$$

Bestimmung der Reaktionsordnung - van't Hoffsche Methode mit einem Edukt

$$\ln r_c = \ln k + n \cdot \ln c(A)$$

Bestimmung der Reaktionsordnung - van't Hoffsche Methode mit einem Edukt, ver. T

$$\ln r_c = \ln A - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} + n \cdot \ln c(A)$$

Bestimmung der Reaktionsordnung - van't Hoffsche Methode mit zwei Edukten

$$\ln r_c = \ln k + n \cdot \ln c(A) + m \cdot \ln c(B)$$

Bestimmung der Reaktionsordnung - van't Hoffsche Methode mit zwei Edukten, ver. T

$$\ln r_c = \ln A - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} + n \cdot \ln c(A) + m \cdot \ln c(B)$$

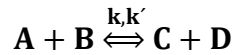
Bestimmung der Reaktionsordnung - van't Hoffsche Methode mit zwei Edukten, 2-dim. Regr.

$$\ln r_c = \ln k_1 + n \cdot \ln c(A_{konst}) + m \cdot \ln c(B)$$

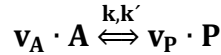
$$\text{Ordnung } m = k_{GG1} \qquad \qquad \qquad d_1 = \ln k_1 + n \cdot \ln c(A_{konst})$$

$$\ln r_c = \ln k_2 + n \cdot \ln c(A) + m \cdot \ln c(B_{konst})$$

$$\text{Ordnung } n = k_{GG2} \qquad \qquad \qquad d_2 = \ln k_2 + m \cdot \ln c(B_{konst})$$

Reversible Reaktionen

$$K_c = \frac{k}{k'} = \frac{c(C) \cdot c(D)}{c(A) \cdot c(B)}$$

Reversible Reaktionen

$$v_A = 1, v_P = 1$$

allgemein

$$r_c = -\frac{1}{v_A} \cdot \frac{d c(A)}{d t} = k \cdot c(A) - k' \cdot c(P)$$

$$\frac{c_0(A)}{v_A} + \frac{c_0(P)}{v_P} = \frac{c(A)}{v_A} + \frac{c(P)}{v_P} = \text{konst}$$

$$c(A) = \frac{k' + k \cdot e^{-(k+k') \cdot t}}{k + k'} c_0(A)$$

$$c(A) = \frac{v_P \cdot k' + v_A \cdot k \cdot e^{-(v_A \cdot k + v_P \cdot k') \cdot t}}{v_A \cdot k + v_P \cdot k'} c_0(A)$$

$$c(P) = \frac{k \cdot (1 - e^{-(k+k') \cdot t})}{k + k'} c_0(A)$$

$$c(P) = \frac{v_P \cdot k \cdot (1 - e^{-(v_A \cdot k + v_P \cdot k') \cdot t})}{v_A \cdot k + v_P \cdot k'} c_0(A)$$

$$c_\infty(A) = \frac{k'}{k + k'} c_0(A)$$

$$c_\infty(A) = \frac{v_P \cdot k'}{v_A \cdot k + v_P \cdot k'} c_0(A)$$

$$c_\infty(P) = \frac{k}{k + k'} c_0(A)$$

$$c_\infty(P) = \frac{v_P}{v_A} \cdot \frac{k}{v_A \cdot k + v_P \cdot k'} c_0(A)$$

$$\ln \frac{c_0(A) - c_\infty(A)}{c(A) - c_\infty(A)} = (k + k') \cdot t$$

$$\ln \frac{c_0(A) - c_\infty(A)}{c(A) - c_\infty(A)} = (v_A \cdot k + v_P \cdot k') \cdot t$$

$$K_c = \frac{k}{k'} = \frac{c_\infty(P)}{c_\infty(A)}$$

$$c(A) = (c_0(A) - c_\infty(A)) \cdot e^{-(v_A \cdot k + v_P \cdot k') \cdot t} + c_\infty(A)$$

$$c(P) = \frac{v_P}{v_A} \cdot (c_0(A) - c_\infty(A)) \cdot [1 - e^{-(k+k') \cdot t}] + c_0(P)$$

Parallelreaktionen A → P1 und A → P2

$$v_A = 1, v_{P1} = 1, v_{P2} = 1$$

allgemein

$$r_c = -\frac{1}{v_A} \cdot \frac{d c(A)}{d t} = (k_1 + k_2) \cdot c(A)$$

$$c(A) = c_0(A) \cdot e^{-(k_1 + k_2) \cdot t}$$

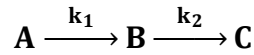
$$c(A) = c_0(A) \cdot e^{-v_A \cdot (k_1 + k_2) \cdot t}$$

$$\frac{d c(P1)}{d c(P2)} = \frac{k_1}{k_2}$$

$$\frac{d c(P1)}{d c(P2)} = \frac{v_{P1} \cdot k_1}{v_{P2} \cdot k_2} \left[= \frac{k_1(P1)}{k_2(P2)} \right]$$

$$c(P2) = \frac{k_2}{k_1+k_2} \cdot \frac{v_{P2}}{v_A} \cdot c_0(A) \cdot [1 - e^{-v_A \cdot (k_1+k_2) \cdot t}]$$

$$c(P1) = \frac{k_1}{k_1+k_2} \cdot \frac{v_{P1}}{v_A} \cdot c_0(A) \cdot [1 - e^{-v_A \cdot (k_1+k_2) \cdot t}]$$

Folgereaktionen

$$v_A = 1, v_B = 1, v_C = 1$$

allgemein

$$c(A) = c_0(A) \cdot e^{-k_1 \cdot t}$$

$$c(A) = c_0(A) \cdot e^{-v_A \cdot k_1 \cdot t}$$

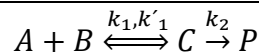
$$c(B) = \frac{k_1}{k_2-k_1} \cdot c_0(A) \cdot [e^{-k_1 \cdot t} - e^{-k_2 \cdot t}]$$

$$c(B) = \frac{k_1}{k_2-k_1} \cdot c_0(A) \cdot [e^{-v_A \cdot k_1 \cdot t} - e^{-v_B \cdot k_2 \cdot t}]$$

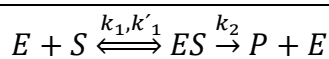
$$c(C) = c_0(A) \cdot \left\{ 1 + \frac{k_1 \cdot e^{-k_2 \cdot t} - (k_2 - k_1 + k_1) \cdot e^{-k_1 \cdot t}}{k_2 - k_1} \right\}$$

$$c(C) = c_0(A) \cdot \frac{v_C}{v_A} \cdot \left\{ 1 + \frac{\frac{v_A}{v_B} \cdot k_1 \cdot e^{-v_B \cdot k_2 \cdot t} - \left(k_2 - k_1 + \frac{v_A}{v_B} \cdot k_1 \right) \cdot e^{-v_A \cdot k_1 \cdot t}}{k_2 - k_1} \right\}$$

$$t_{max} = \frac{\ln\left(\frac{v_A \cdot k_1}{v_B \cdot k_2}\right)}{v_A \cdot k_1 - v_B \cdot k_2}$$

Vorgelagerte Gleichgewichte

$$r_c = \frac{dc(P)}{dt} = k_2 \cdot c(C) = k_2 \cdot \frac{k_1}{k'_1} \cdot c(A) \cdot c(B) = k_{ges} \cdot c(A) \cdot c(B)$$

Michaelis-Menten-Kinetik**Reaktionsgleichung****M-M-Konstante****M-M-Gleichung**

$$K_M = \frac{c(E) \cdot c(S)}{c(ES)} = \frac{k'_1 + k_2}{k_1}$$

$$r_c = \frac{r_{c,max} \cdot c(S)}{K_M + c(S)}$$

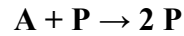
Wechselzahl, Katalytische Konstante k_{cat} **Katalytische Effizienz**

$$k_{cat} = \frac{r_{c,max}}{c_0(E)} = \frac{k_2 \cdot c_0(E)}{c_0(E)} = k_2$$

$$\frac{k_{cat}}{K_M}$$

Auswertung der Michaelis-Menten-Gleichung

$$\frac{1}{r_c} = \frac{K_M}{r_{c,max}} \cdot \frac{1}{c(S)} + \frac{1}{r_{c,max}}$$

Autokatalyse

$$\frac{1}{c_0(A)+c_0(P)} \cdot \ln \left(\frac{c_0(A) \cdot c(P)}{c_0(P) \cdot c(A)} \right) = k \cdot t$$

$$\xi = \frac{c_0(A) \cdot c_0(P) \cdot [e^{(c_0(A)+c_0(P)) \cdot k \cdot t} - 1]}{c_0(A)+c_0(P) \cdot e^{(c_0(A)+c_0(P)) \cdot k \cdot t}}$$

$$c(P) = \frac{c_0(A)+c_0(P)}{1+\frac{c_0(A)}{c_0(P)} \cdot e^{-(c_0(A)+c_0(P)) \cdot k \cdot t}}$$

$$c(A) = \frac{c_0(A)+c_0(P)}{1+\frac{c_0(P)}{c_0(A)} \cdot e^{(c_0(A)+c_0(P)) \cdot k \cdot t}}$$

Boltzmann–Energieverteilungsfunktion

$$x_i = \frac{\Delta N_{E_a}}{N} = e^{-\frac{E_a}{R \cdot T}}$$

Arrhenius-Gleichung

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{R \cdot T}}$$

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = -\frac{E_a}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

27. TRANSPORTERSCH EINUNGEN**Kapitel in Arbeit****28. VERDAMPFER****Keine Formeln**

29. REKTIFIKATION

Trennwirkung von Füllkörpern und Packungen

$$h_F = n_{th} \cdot HETP$$

Rücklaufverhältnis r

Mindestrücklaufverhältnis

$$r = \frac{\dot{n}_R}{\dot{n}_K} = \frac{\text{Rücklaufstrom}}{\text{Kopfproduktstrom}}$$

$$r = \frac{x_K - y_F}{y_F - x_F} = r_{min}$$

Verstärkergerade

$$y_D = \frac{r}{1+r} \cdot x_R + \frac{1}{1+r} \cdot x_K$$

Gleichgewichtskurve

Trennfaktor / relative Flüchtigkeit

$$y_A = \frac{x_A \cdot \alpha}{x_A \cdot (\alpha - 1) + 1}$$

$$\alpha = \frac{p_{0,A}}{p_{0,B}}$$

Bodenwirkungsgrad und erforderliche Anzahl der Austauschböden

$$N = \frac{n_{theo} - 1}{\eta_B}$$

Rückdampfverhältnis r'

$$r' = \frac{\dot{n}_R}{\dot{n}_S} = \frac{\text{Rücklaufstrom zum Sumpf}}{\text{Sumpfproduktstrom}}$$

Abtriebsgerade

$$y_D = \frac{r'}{r' - 1} \cdot x_R - \frac{1}{r' - 1} \cdot x_S$$