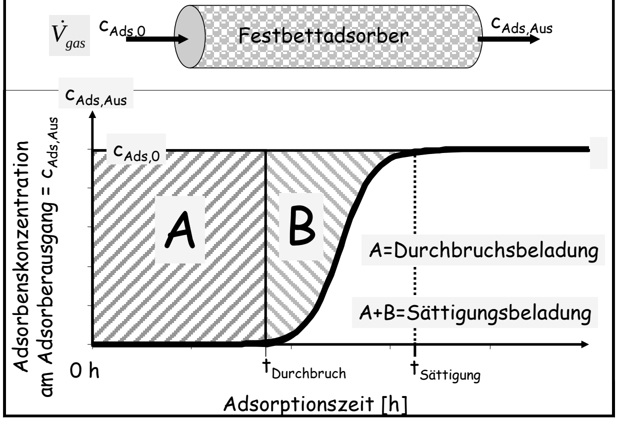
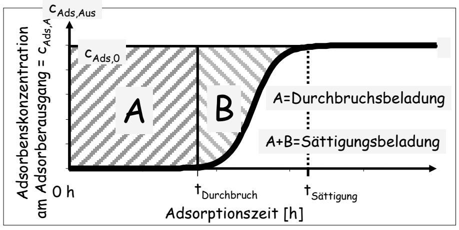
Charakterisierung eines Festbettadsorbers



Charakterisierung eines Festbettadsorbers



Durchbruchsbeladung =dynamische Beladung

$$\theta_{DB} = \frac{\dot{V}}{m_A}\int_0^{t_{DB}}\left(c_{Ads,0} - c_{Ads,Aus}\right)dt$$

Sättigungsbeladung =statische Beladung

$$\theta_{Sä} = \frac{\dot{V}}{m_A}\int_0^{t_{Sä}}\left(c_{Ads,0} - c_{Ads,Aus}\right)dt$$

Aufgabe

Aus einem mit c_0=5 g/m³ Aceton beladenen Abgas einer Filmfabrik soll das Aceton durch Aktivkohle bei Raumtemperatur (TR=293 K) bis auf eine Restkonzentration von c_R=25 mg/m³ adsorptiv entfernt werden. Der Festbett-adsorber ist mit Aktivkohle gefüllt (Schüttdichte 500 kg/m³) und arbeitet unter Normaldruck(10^5 Pa). Der Gasdurchsatz beträgt 10.000 m³/h. Die experimentell ermittelte Adsorptionsisotherme gehorcht der Langmuir-Gleichung und lässt sich in ihrem Anfangsteil durch die lineare Gleichung $\theta=1{,}75*10^{-4}$ p beschreiben (θ statische Beladung der Aktivkohle in kg/kg, p Acetonpartialdruck in Pa).
Berechnen Sie für den vorgegebenen Durchsatz die erforder-liche Aktivkohlemasse des Adsorbers, wenn die dynamische Beladung der Aktivkohle unter den gegebenen Bedingungen 75 % der statischen Beladung und die Dauer der Adsorptions-phase (Standzeit) 1 h beträgt.

Aufgabe

$\text{Standzeit} = 1\,h$

Abgas mit Aceton — Festbettadsorber: Aktivkohle — gefordert

$c_{A0} = 5\frac{g}{m^3}$ — $\dot{V}_{gas} = 10000\frac{m^3}{h}$, $p = 10^5\ Pa$, $T = 293\ K$ — $c_{A,aus} = 25\frac{mg}{m^3}$

ideales Gas $pV = nRT$

Korngröße $d = 5*10^{-3}m$

Schüttdichte $\rho_S = 500\frac{kg}{m^3}$

Gesucht: erforderliche Aktivkohlemasse

Lösung: Langmuir-Isotherme

$\boxed{\text{wenn}\quad bp << 1}$

$$\theta = \frac{bp}{1+bp} \approx 1{,}75*10^{-4}\,p\ \frac{kg}{kg\ Pa}$$

$R = 8{,}3143\frac{J}{mol\ K}$

$M_{Aceton} = 58{,}08\frac{g}{mol}$

$$p_{Aceton} = \frac{nRT}{V} = c\frac{RT}{M} = 5\frac{8{,}3143*293}{58{,}08}\frac{g}{m^3}\frac{J}{mol\ K}K\frac{mol}{g} = 209{,}7\ \ Pa$$

Langmuir-Isotherme

$\text{Standzeit} = 1\,h$ $c_{A0} = 5\frac{g}{m^3}$ $\dot{V}_{gas} = 10000\frac{m^3}{h}$ $c_{A,aus} = 25\frac{mg}{m^3}$

$$\theta = \frac{bp}{1+bp} \approx 1{,}75*10^{-4}\,p\ \frac{kg}{kg\ Pa}$$

$\boxed{\text{wenn}\quad bp << 1}$

$p_{Acetat} = 209{,}7\ \ Pa$

statische Beladung

$$\theta \approx 1{,}75*10^{-4}\frac{kg}{kg\ Pa}*209{,}7\ Pa = 0{,}0367\ \frac{kg}{kg}$$

dynamische Beladung = Durchbruchsbeladung = 75 % der statischen Beladung

$$\theta_{dyn} = 0{,}75\,\theta = 0{,}75*0{,}0367\frac{kg}{kg} = 0{,}0275\frac{kg_{Ac}}{kg_{Kohle}}$$

ist nicht immer so!

$$\theta_{DB} = \frac{\dot{V}}{m_A}\int_0^{t_{DB}}\left(c_{Ads,0} - c_{Ads,Aus}\right)dt = \theta_{dyn}$$

$$m_A = \frac{\dot{V}}{\theta_{dyn}}\left(c_{Ads,0} - c_{Ads,Aus}\right)t_{DB} = \frac{10.000}{0{,}0275}(5 - 0{,}025)1\frac{m^3 g_{Ac} kg_{Kohle} h}{h\ m^3\ kg_{Ac}}\ \boxed{= 1.809\ kg_{Kohle}}$$

Aufgabe

Der Bedeckungsgrad θ_A und θ_B bei der Mischadsorption zweier Gase A und B mit den Partialdrücken p_A und p_B lässt sich für die stationäre Chemiesorption aus einem kinetischen Ansatz ableiten (energetisch homogene Oberfläche, keine lateralen Wechselwirkungen):

Ansatz (F = freier Platz) — Beschreibung mit messbaren Größen

$A_{frei} + F \xrightarrow{k_{A1}} A_{ads}$ — $p_A + (1-\theta_A-\theta_B) \longrightarrow \theta_A$

$A_{ads} \xrightarrow{k_{A2}} A_{frei} + F$ — $\theta_A \longrightarrow p_A + (1-\theta_A-\theta_B)$

$B_{frei} + F \xrightarrow{k_{B1}} B_{ads}$ — $p_B + (1-\theta_A-\theta_B) \longrightarrow \theta_B$

$B_{ads} \xrightarrow{k_{B2}} B_{frei} + F$ — $\theta_B \longrightarrow p_B + (1-\theta_A-\theta_B)$

Wie lautet die Änderung von θ_A und θ_B mit der Änderung der Zeit?

$$\frac{d\theta_A}{dt} = k_{A1}p_A(1-\theta_A-\theta_B) - k_{A2}\theta_A \qquad \frac{d\theta_B}{dt} = k_{B1}p_B(1-\theta_A-\theta_B) - k_{B2}\theta_B$$

Annahme stationärer Bedingungen und auflösen nach θ_A und θ_B!

$$\frac{d\theta_A}{dt} = k_{A1}p_A(1-\theta_A-\theta_B) - k_{A2}\theta_A \qquad \frac{d\theta_B}{dt} = k_{B1}p_B(1-\theta_A-\theta_B) - k_{B2}\theta_B$$

Annahme stationärer Bedingungen und auflösen nach θ_A und θ_B!

Berücksichtigung von $b_A = \frac{k_{A1}}{k_{A2}}$ und $b_b = \frac{k_{B1}}{k_{B2}}$

Für θ_A:

$$k_{A1}p_A(1-\theta_A-\theta_B) - k_{A2}\theta_A = 0$$

$$k_{A1}p_A - k_{A1}p_A\theta_A - k_{A1}p_A\theta_B = k_{A2}\theta_A$$

$$\frac{k_{A1}}{k_{A2}}p_A - \frac{k_{A1}}{k_{A2}}p_A\theta_B - \frac{k_{A1}}{k_{A2}}p_A\theta_A = \theta_A$$

$$b_Ap_A - b_Ap_A\theta_B - b_Ap_A\theta_A = \theta_A$$

$$b_Ap_A(1-\theta_B) = (b_Ap_A+1)\theta_A \quad \longrightarrow \quad \theta_A = \frac{b_Ap_A(1-\theta_B)}{1+b_Ap_A}$$

muss ersetzt werden

$$\theta_A = \frac{b_Ap_A\boxed{(1-\theta_B)}}{1+b_Ap_A}$$

analoges Vorgehen

$$\theta_B = \frac{b_Bp_B(1-\theta_A)}{1+b_Bp_B}$$

$$1-\theta_B = 1 - \frac{b_Bp_B(1-\theta_A)}{1+b_Bp_B}$$

$$1-\theta_B = \frac{1+b_Bp_B-b_Bp_B(1-\theta_A)}{1+b_Bp_B}$$

$$\theta_A = \frac{b_Ap_A\left(1+b_Bp_B-b_Bp_B(1-\theta_A)\right)}{(1+b_Ap_A)(1+b_Bp_B)}$$

Nach θ_A auflösen!

$$\theta_A = \frac{b_Ap_A(1+b_Bp_B-b_Bp_B)}{(1+b_Ap_A)(1+b_Bp_B)} + \frac{b_Ap_Ab_Bp_B\theta_A}{(1+b_Ap_A)(1+b_Bp_B)}$$

$$\theta_A = \frac{b_Ap_A(1+b_Bp_B-b_Bp_B)}{(1+b_Ap_A)(1+b_Bp_B)} + \frac{b_Ap_Ab_Bp_B\theta_A}{(1+b_Ap_A)(1+b_Bp_B)}$$

$$\theta_A - \frac{b_Ap_Ab_Bp_B\theta_A}{(1+b_Ap_A)(1+b_Bp_B)} = \frac{b_Ap_A}{(1+b_Ap_A)(1+b_Bp_B)}$$

$$\theta_A\left[1 - \frac{b_Ap_Ab_Bp_B}{(1+b_Ap_A)(1+b_Bp_B)}\right] = \frac{b_Ap_A}{(1+b_Ap_A)(1+b_Bp_B)}$$

$$\theta_A\left[(1+b_Ap_A)(1+b_Bp_B) - b_Ap_Ab_Bp_B\right] = b_Ap_A$$

$$\theta_A = \frac{b_Ap_A}{\left[1+b_Ap_A+b_Bp_B+b_Ap_Ab_Bp_B-b_Ap_Ab_Bp_B\right]}$$

$$\boxed{\theta_A = \frac{b_Ap_A}{\left[1+b_Ap_A+b_Bp_B\right]}}$$

analoges Vorgehen

$$\boxed{\theta_B = \frac{b_Bp_B}{\left[1+b_Ap_A+b_Bp_B\right]}}$$

Mischadsorption