Name:

Matrikelnummer:

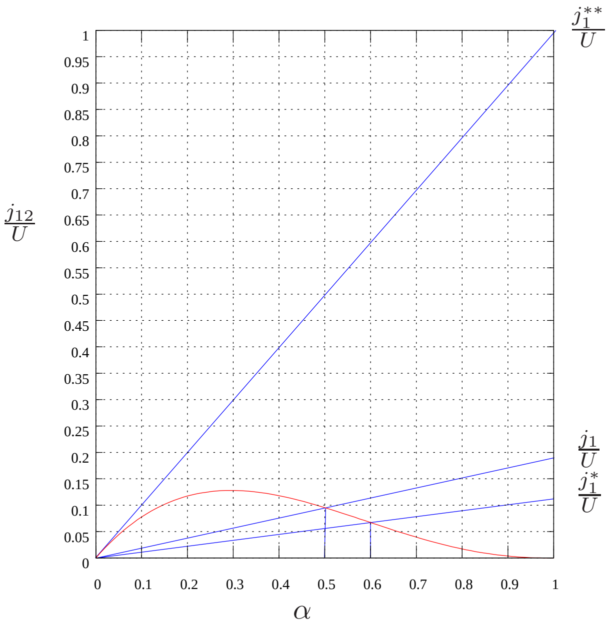
---

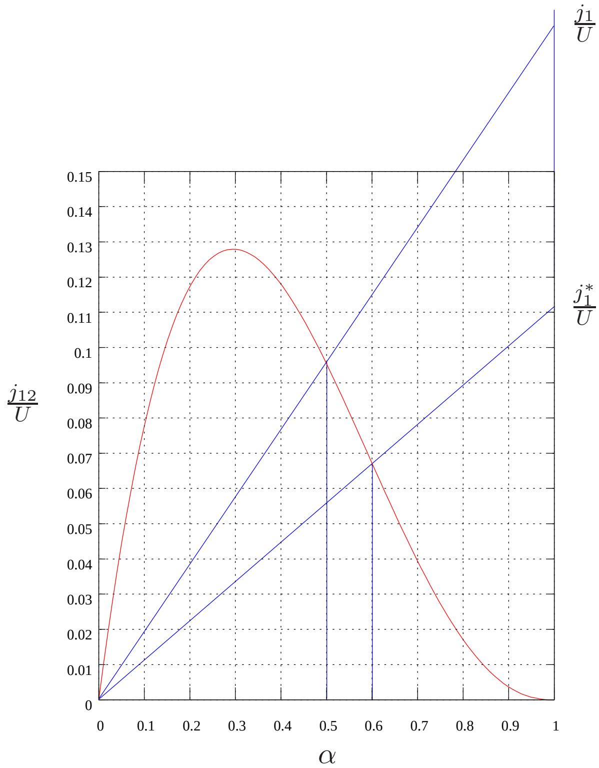
1 Wirbelschicht

In einem Rohr mit dem Innendurchmesser von 50 cm soll Kohlestaub in einer Wirbelschicht verbrannt werden. Berechnen Sie das Verhalten der Wirbelschicht bei einer Temperatur der Luft von $\vartheta = 75\,^\circ$C ($\rho_1 = 1$ kg/m^3, $\nu = 2 \cdot 10^{-5}$ m^2/s). Der Kohlestaub bestehe aus Partikel mit einem Durchmesser von 3 mm, die Dichte beträgt $\rho_2 = 1300$ kg/m^3. Die Sinkgeschwindigkeit eines Teilchens betrage $U = 10{,}1$ m/s. Die Teilchen verhalten sich entsprechend der Driftfluss-Relation von Richardson und Zaki,

$$j_{12} = \alpha(1-\alpha)^{2{,}39}U,$$

mit $\alpha_{\max} = 0{,}6$. Lösen die folgenden Aufgaben sowohl rechnerisch alsauch graphisch.





1.1) Wie groß ist der minimale nötige Volumenstrom an Luft, um das Festbett zu lösen und eine Wirbelschicht zu erzeugen?

$$dj_1^*/U = 0{,}11192, \qquad \dot V_1^* = j_1^* U A = \frac{1}{\alpha} f(\alpha_{\mathrm{mmax}}) U A = 0{,}22195\,\mathrm{m}^3/\mathrm{s}$$

1.2) Wie hoch ist die maximal mögliche Volumenstromdichte der Luft? Wie groß ist der entsprechende Volumenstrom?

$$j_1^{**} = f'(0)U = U, \qquad \dot V_1^{**} = UA = 1{,}9831\,\mathrm{m}^3/\mathrm{s}$$

Name:

Matrikelnummer:

1.3) Welcher Volumenstrom an Luft ist nötig, um die Wirbelschicht zu einer Teilchenkonzentration von $\alpha = 0{,}5$ zu expandieren?

$$\frac{j_1}{U} = (1-\alpha)^{2{,}39} = 0{,}19078, \qquad \dot{V}_1 = j_1 A U = \frac{f(\alpha)}{\alpha} U A = 0{,}37834\,\mathrm{m^3/s}$$

1.4) Welche Masse an Kohle ist, bei $\alpha = 0{,}5$, in der Wirbelschicht vorhanden, wenn die Wirbelschicht eine Höhe von $H = 1{,}5$ m hat?

$$m_2 = \alpha V \rho_2 = 191.44\,\mathrm{kg}$$

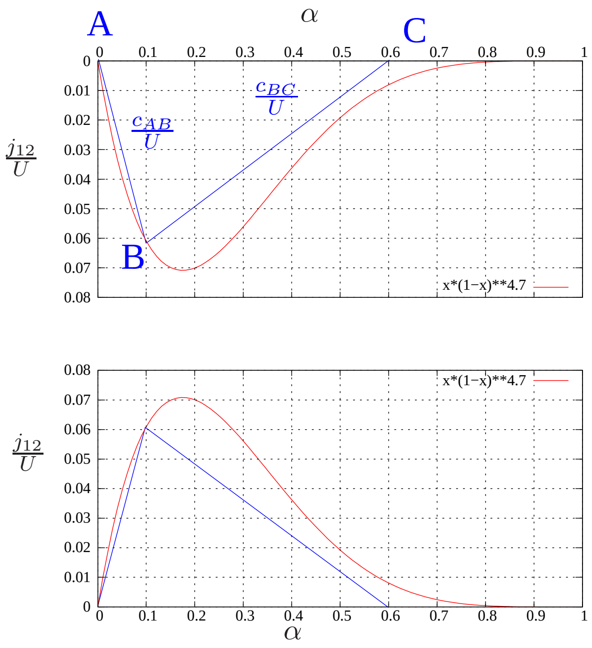
2 Sedimentation

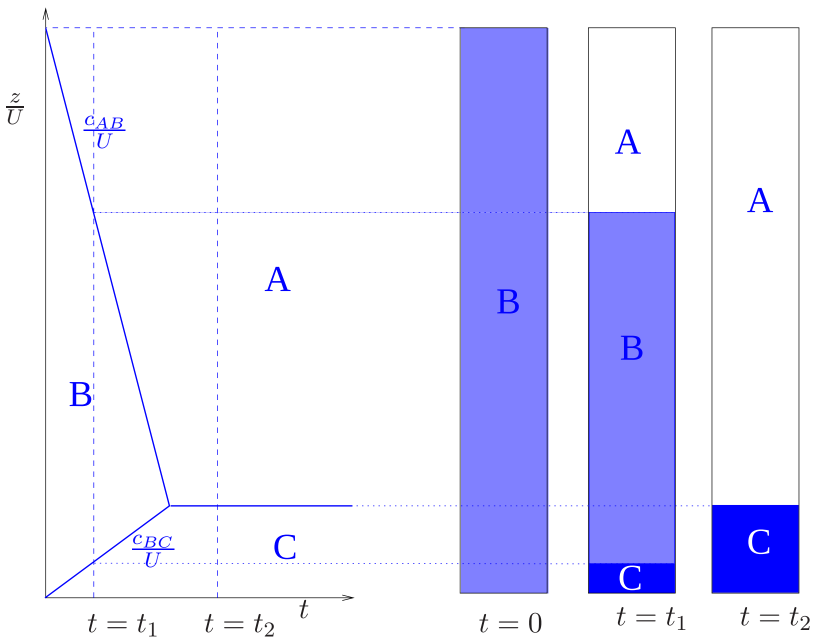
Ein 10 cm hoher Behälter ist voll gefüllt mit einer Suspension von Glaskugeln ($\rho_2 = 2400\,\mathrm{kg/m^3}$, $d = 100\,\mu\mathrm{m}$) und einem Glyzerin-Wasser Gemisch ($\rho_1 = 1191\,\mathrm{kg/m^3}$, $\mu = 19{,}5 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{Pas}$).

Die Sinkgeschwindigkeit eines einzelnen Teilchens beträgt $U = 3{,}38 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{m/s}$. Die Anfangskonzentration der Teilchen ist $\alpha_0 = 0{,}1$, die maximale Konzentration beträgt $\alpha_{\max} = 0{,}6$. Es gelte die Driftflussrelation von Richardson & Zaki,

$$j_{12} = \alpha(1-\alpha)^{4{,}7} U.$$

2.1) Bestimmen Sie die auftretenden Stoßgeschwindigkeiten graphisch mittels der Driftflusskurve.





2.2) Zeichnen Sie in einem z,t-Diagramm die Stöße bzw. die Bereiche unterschiedlicher Konzentrationen ein.

Name:

Matrikelnummer:

2.3) Stellen Sie die Suspension zu den Zeitpunkten $t = 0$, $t = t_1$, $t = t_2$ dar. Die Grenzflächen zwischen den Bereichen unterschiedlicher Konzentration bestimmen Sie mittels des z,t-Diagramms.

2.4) Berechnen Sie die Höhe der Sedimentationsschicht im Endzustand.

$$h_E = h_0 \alpha_0 / \alpha_{\max} = 1{,}66\,\mathrm{cm}$$

3 Ausströmen aus einem Kessel

Ein Kessel mit dem Volumen $V = 1{,}5\,\mathrm{m}^3$ enthält ein Gemisches aus Öl (Dichte $\rho_1 = 900\,\mathrm{kg/m^3}$) und Luft (Gaskonstante $R_L = 288\,\mathrm{J/kgK}$) bei der Temperatur $T = 300\,\mathrm{K}$. Der Volumenanteil der Luft beträgt $\alpha_0 = 0{,}34$. Der Druck im Kessel beträgt $p_0 = 6\,\mathrm{bar}$. Die Luft kann als ideales Gas betrachtet werden.

3.1) Berechnen Sie die Schallgeschwindigkeit im Kessel.

$$c_0 = \sqrt{\frac{p_0}{\rho_1 \alpha_0 (1 - \alpha_0)}} = 54{,}51\,\mathrm{m/s}$$

Am Kessel entsteht ein kleines Leck und das Gemisch strömt in einen Sicherheitsbehälter mit Druck $p_S = 3{,}5\,\mathrm{bar}$ aus.

3.2 Berechnen Sie den Volumenanteil α_E der Luft beim Ausströmen (Ersatzwert $\alpha_E = 0{,}5$).

$$\alpha_E = \frac{\frac{p_0}{p_E}\frac{\alpha_0}{1-\alpha_0}}{1 + \frac{p_0}{p_E}\frac{\alpha_0}{1-\alpha_0}} = 0{,}4689$$

3.3) Berechnen Sie die Ausströmgeschwindigkeit v_E (Ersatzwert $v_E = 25\,\mathrm{m/s}$). Aus verallgemeinerter Bernoulligleichung $v_E = 30{,}42\,\mathrm{m/s}$.

3.4 Berechnen Sie die Machzahl M_E des austretenden Gemisches.

$$c_E = \sqrt{\frac{p_E}{\rho_1 \alpha_E (1 - \alpha_E)}} = 39{,}52\,\mathrm{m/s}, \qquad M_E = 0{,}77.$$

4 Rohrströmung

Durch ein Rohr (Innendurchmesser $d = 20\,\mathrm{mm}$) strömt der Massenstrom $\dot{m} = 1{,}578\,\mathrm{kg/s}$ eines Gemisches aus Öl (Dichte $\rho_1 = 1000\,\mathrm{kg/m^3}$) und Luft (Gaskonstante $R_L = 288\,\mathrm{J/kgK}$) bei der Temperatur $T = 300\,\mathrm{K}$. Beim Rohreintritt herrscht der Druck $p_A = 4{,}0\,\mathrm{bar}$ und der Volumenanteil der Luft beträgt $\alpha_A = 0{,}50$.

Name:

Matrikelnummer:

4.1) Berechnen Sie die Geschwindigkeit v_A (Ersatzwert $v_A = 10\,\mathrm{m/s}$) und die Machzahl M_A(Ersatzwert: $M_A = 0{,}2$) beim Rohreintritt!

$$\rho_A = (1-\alpha_A)\rho_1 = 500\,\mathrm{kg/m^3},$$

$$v_A = \frac{\dot{m}}{\rho_A d^2\pi/4} = 10{,}0\,\mathrm{m/s},$$

$$c_A = 40{,}0\,\mathrm{m/s},$$

$$M_A = 0{,}25 \quad .$$

4.2) Bei welchem Druck wird die Machzahl 1 erreicht? (Hinweis $M\,p = \mathrm{const.}$)
Mit $M_E = 1$ erhalten wir:

$$p_E = p_A \frac{M_A}{M_E} = 1{,}00\,\mathrm{bar}.$$

4.3) Wie lange kann das Rohr bei den gegebenen Bedingungen höchstens sein, wenn der Rohrwiderstandsbeiwert $\lambda_R = 0{,}017818$ beträgt?

$$K = \frac{\alpha_A}{(1-\alpha_A)M_A} = 4{,}00$$

$$\Delta z = \frac{2d}{\lambda_R}\left(K\left(\frac{1}{M_A} - \frac{1}{M_E}\right) + K^2 \ln\frac{M_A}{M_E} + (1-K^2)\ln\frac{1+K\,M_A}{1+K\,M_E}\right) = 8{,}00\,\mathrm{m}.$$

Einige wichtige Beziehungen

homogene Zweiphasenströmung

Zweiphasengemisch ideales Gas/inkompressible Flüssigkeit, $T = const.$:

$$\frac{p\alpha}{1-\alpha} = \frac{p_r\alpha_r}{1-\alpha_r}$$

$$\rho = \rho_1\left(1 + \frac{\alpha_r}{1-\alpha_r}\frac{p_r}{p}\right)$$

$$c_{xT}^2 = \frac{p}{\rho_1\alpha(1-\alpha)}$$

verallg. Bernoulligleichung

$$\rho_1\frac{v^2}{2} + p + \rho_1 g(z-z_r) = \rho_1\frac{v_r^2}{2} + p_r\left[1 + \frac{\alpha_r}{1-\alpha_r}\ln\frac{p_r}{p}\right].$$

krit. Druckverhältnis:

$$\frac{1-\alpha_0}{\alpha_0}\left(1-\frac{p^*}{p_0}\right) - \ln\frac{p^*}{p_0} = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{1+\alpha_0}{\alpha_0}\frac{p^*}{p_0}\right)^2.$$

Rohrströmung mit Reibung:

$$\frac{\lambda_R}{2d}(z - z_r) = K\left(\frac{1}{M_r} - \frac{1}{M}\right) + K^2 \ln\frac{M_r}{M} + (1 - K^2)\ln\frac{1 + K\,M_r}{1 + K\,M},$$

$$K = \frac{\alpha}{(1-\alpha)M},$$

$$M\,p = \text{const.}$$

inhomogene Zweiphasenströmung

$$j_{12} = \alpha j_1 - (1-\alpha) j_2.$$

1 Beurteilung

S1	Punkte $\geq$ 38,5
U2	34 $\leq$ Punkte $<$ 38,5
B3	28 $\leq$ Punkte $<$ 34
G4	Punkte $\geq$ 24

Matr. Nr.	1.Test	2. Test	3.Test	Mitarbeit	vorläufige Note
0	11,25	—			
126936	7	6,75	12		G4
140474	–	–			
527311	7,5	11,5	9,5		B3
527599	4	7,75	2,5		
527641	6	13	9,25		B3
625553	11	11,5	9,75		B3
625571	–	3,25			
626211	6	–			
627045	4	10			
627471	11,25	11	6,75		B3
725065	7,25	1,5	7,5		
725449					
725611	7,75	12	8		G4
725853	–	–			
725905	–	–			
725928	–	8	6,75		
726449	–	8	6,75		
726661	8	7,25			
727572	7,5	7,75	13,75	2	B3

Matr. Nr.	1.Test	2. Test	3.Test	Mitarbeit	vorläufige Note
801717	7	11	4,25	2	G4
825612	7,25	11	10,5		B3
925237	4,75	9,5	5,75		
925275	6,5	7,75	13,25		G4
925395	7,5	11,5	13,5		B3
925476	8	10,5	11,75		B3
925502	8	11	5		G4
925523	6	9	14,5		B3
925579	–	–			
925616	10	12	13,5	3	S1
925630	7,5	11,75	10	2	B3
925632	9,75	11,5	14		U2
925732	6	9,25	12,75		B3
925775	10	8	9		G4
925776	9,5	12	14,75		U2
925783	8,5	11	10,75		B3
925812	6,5	11,5	13,75		B3
925842	11,5	13,75	15	2	S1
925919	5,25	5,5	14,25		G4
925938	10,5	10,5	5		G4
926094	5	9,5	12		G4
926142	6,25	6,75	6		
926262	9,25	13,5	15		U2
926289	9,25	11,5	13,5		U2
926599	11,5	14	13,5		U2
926732	4	–			
926796	7,75	6,5	9		G4
926835	6	12,5	13	2	B3
926842	7	10,5	14,5		B3
926940	8	13,5	14,5	3	S1
927228	3,5	10,5	6,25		
1028473	–	8,5			
1128098	5,5	–			
9471371	9,5	12	9		B3
9826087	–	6,5	1		
9926469		13		1	