

Formelübersicht zur Sedimentation

Sedimentation des kugelförmigen Einzelteilchens

Vorgehen:

1. Welcher Aufgabentyp liegt vor?

Aufgabentyp I: Partikelgröße x gegeben, Sinkgeschwindigkeit v_S gesucht
 Aufgabentyp II: Sinkgeschwindigkeit v_S gegeben, Partikelgröße x gesucht

2. Berechnung der dimensionslosen Kennzahlen

für AT I - Archimedes-Zahl:
$$Ar = \frac{g \cdot \Delta\rho \cdot \rho_F \cdot x^3}{\eta_F^2}$$

für AT II - Ljaschenko-Zahl:
$$Lj = \frac{\rho_F^2 \cdot v_S^3}{g \cdot \Delta\rho \cdot \eta_F}$$
 (auch Omega-Zahl Ω)

3. Bestimmung des Strömungsregimes und der Koeffizienten A und B des Potenzansatzes für den Widerstandsbeiwert ($c_W = \frac{B}{Re^A}$) aus nachstehender Tabelle

Strömungsregime	Stokes	Übergangsregime			Newton
	schleichende Strömung	ablösefrei	beginnende Ablösung	Wirbelschlepe	turbulente Nachlaufströmung
Re	$Re \leq 0.5$	$0.5 < Re \leq 10.1$	$10.1 < Re \leq 122$	$122 < Re \leq 10^3$	$10^3 < Re \leq 10^5$
Ar	$Ar \leq 9$	$9 < Ar \leq 325$	$325 < Ar \leq 1.07 \cdot 10^4$	$1.07 \cdot 10^4 < Ar \leq 3 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5 < Ar \leq 3 \cdot 10^9$
Lj	$Lj \leq 0.014$	$0.014 < Lj \leq 3.18$	$3.18 < Lj \leq 172$	$172 < Lj \leq 3300$	$3300 < Lj \leq 3.3 \cdot 10^5$
A	1	0.8	0.6	0.4	0
B	24	27	17	6.5	0.44

4. Berechnung von Sinkgeschwindigkeit bzw. Partikelgröße

Aufgabentyp I:
$$v_S = \frac{\eta_F}{\rho_F \cdot x} \cdot \left(\frac{4}{3} \cdot \frac{Ar}{B} \right)^{\frac{1}{2-A}}$$

für Aufgabentyp II:
$$x = \frac{\eta_F}{\rho_F \cdot v_S} \cdot \left(\frac{3}{4} \cdot B \cdot Lj \right)^{\frac{1}{1+A}}$$

Sonderfall Stokes-Regime ($Re < 0.5$):
$$v_S = \frac{g \cdot \Delta\rho}{18 \cdot \eta_F} \cdot x^2$$

$$x = \sqrt{\frac{18 \cdot \eta_F}{g \cdot \Delta\rho}} \cdot v_S$$

Korrektur der Teilchenform

allgemeines Herangehen: $v_{SP} = k_{\Psi} \cdot v_{SK}$ $k_{\Psi} = f(\text{Form, Strömungsbedingungen})$

(v_{SK} wird in der Regel für die volumengleiche Kugel berechnet)

Stokes-Bereich: $k_{\Psi St} = 0.843 \cdot \log\left(\frac{\Psi}{0.065}\right)$ Pettyjohn & Christiansen
 ($Ar < 9$)

Übergangsbereich: $k_{\Psi \ddot{U}} = 0.4 + 0.75 \cdot \Psi - 0.067 \cdot \log\left(\frac{4}{3} \cdot Ar\right)$ Gumz
 ($9 < Ar < 3 \cdot 10^5$)

Newton-Bereich: $k_{\Psi N}(\Psi) = \sqrt{\frac{1}{1 + 11.1 \cdot (1 - \Psi)}}$ Pettyjohn & Christiansen
 ($3 \cdot 10^5 < Ar < 3 \cdot 10^9$)

wobei Ψ die Sphärizität nach Wadell: $\Psi = \left(\frac{x_V}{x_S}\right)^2 = \left(\frac{\text{volumenäquivalenter Durchmesser}}{\text{oberflächenäquivalenter Durchmesser}}\right)^2$

Korrektur des Schwarmeinfluss

Die nachfolgend vorgestellten Beziehungen gelten nur für nichtgeflockte Partikelsysteme (hohes Abstoßungspotenzial und/oder hohe Strömungsturbulenz; Relativbewegung zwischen den Partikeln ist möglich). Die Sedimentation eines einzelnen Teilchens wird dann behindert/beeinflusst:

- von einer Gegenströmung des infolge der Sedimentation verdrängten Fluids,
- der Überlagerung der deformierten Strömungsfelder um die einzelnen Partikel.

Der Fall kollektiver Sedimentationsbewegung in Partikelkomplexen/Flocken (Zonensedimentation) bedarf einer getrennten Betrachtung.

allgemeines Herangehen: $v_{SS} = k_{\varphi} \cdot v_{SP}$ $k_{\varphi} = f(\varphi, Re)$

(v_{SP} ist die Sinkgeschwindigkeit eines Einzelteilchens, φ der Volumenanteil der dispersen Phase, Re die Reynoldszahl des sedimentierenden Einzelteilchens)

Korrekturfaktor: $k_{\varphi RZ} = (1 - \varphi_S)^n$ Richardson & Zaki

$$n = \begin{cases} 4.65 & \text{if } Re \leq 0.2 \\ 4.35 \cdot Re^{-0.03} & \text{if } 0.2 < Re \leq 1 \\ 4.45 \cdot Re^{-0.1} & \text{if } 1 < Re \leq 500 \\ 2.39 & \text{if } 500 < Re \end{cases}$$