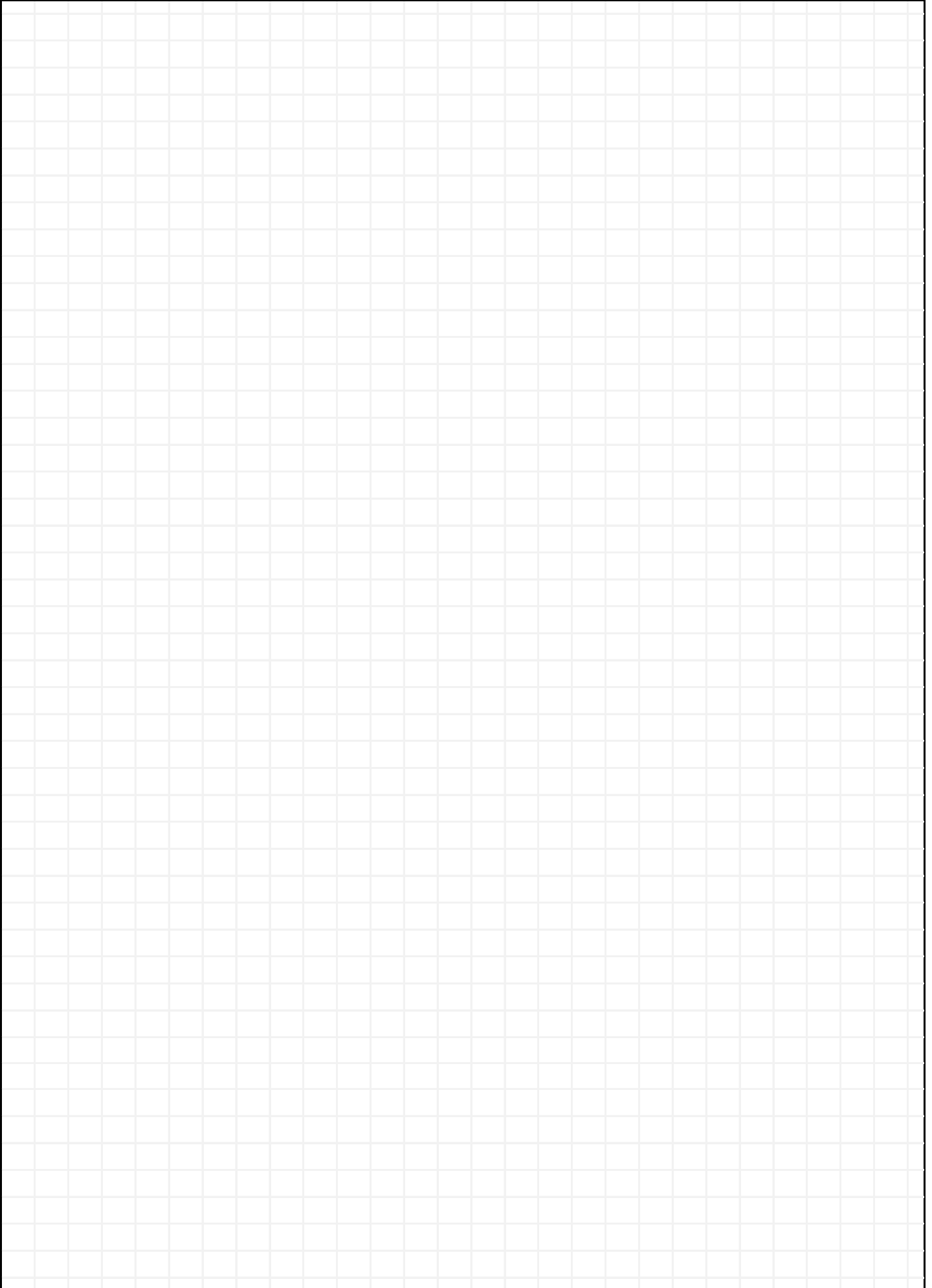


Beispiele



Ziel der Zerkleinerungstechnik ist es, mit vertretbarem Energieaufwand und erträglichen Verschleiß der Maschinen, ein Feststoff auf eine gewünschte Feinheit nach Produktspezifikationen zu bringen.

Notizen

Spezifische Zerkleinerungsarbeit: Allgemein

$$e_{\text{Mühle}} = \frac{W}{m} = \frac{P}{\dot{m}} \quad \frac{W}{kg/s}$$

Spezifische Zerkleinerungsarbeit nach Kick

$$e_{\text{Kick}} = c_{\text{Kick}} \cdot \log\left(\frac{x_{80,\alpha}}{x_{80,\omega}}\right) \quad \frac{W}{kg/s}$$

$$x_{80\omega} \geq 5 \cdot 10^{-2} m$$

$$c_{\text{Kick}} = 1,151 \cdot \frac{c_{\text{Bond}}}{\sqrt{5 \cdot 10^{-2} m}} \quad \frac{m^2}{s^2}$$

Spezifische Zerkleinerungsarbeit nach Bond

$$e_{\text{Bond}} = c_{\text{Bond}} \cdot \left(\sqrt{\frac{1}{x_{80,\omega}}} - \sqrt{\frac{1}{x_{80,\alpha}}} \right) \quad \frac{W}{kg/s}$$

$$5 \cdot 10^{-5} m \lesssim x_{80\omega} \lesssim 5 \cdot 10^{-2} m$$

$$c_{\text{Bond}} = \text{tabelliert siehe A2.1} \quad \frac{m^{2,5}}{s^2}$$

Spezifische Zerkleinerungsarbeit nach von Rittinger

$$e_{\text{Ritt}} = c_{\text{Ritt}} \cdot \left(\frac{1}{x_{80,\omega}} - \frac{1}{x_{80,\alpha}} \right) \quad \frac{W}{kg/s}$$

$$x_{80\omega} \lesssim 5 \cdot 10^{-5} m$$

$$c_{\text{Ritt}} = 0,5 \cdot c_{\text{Bond}} \cdot \sqrt{5 \cdot 10^{-5} m} \quad \frac{m^3}{s^2}$$

Kugelmühle - Kritische Drehzahl

$$n_{\text{Krit}} = \sqrt{\frac{g}{4 \cdot \pi^2 \cdot r}} \quad \frac{1}{s}$$

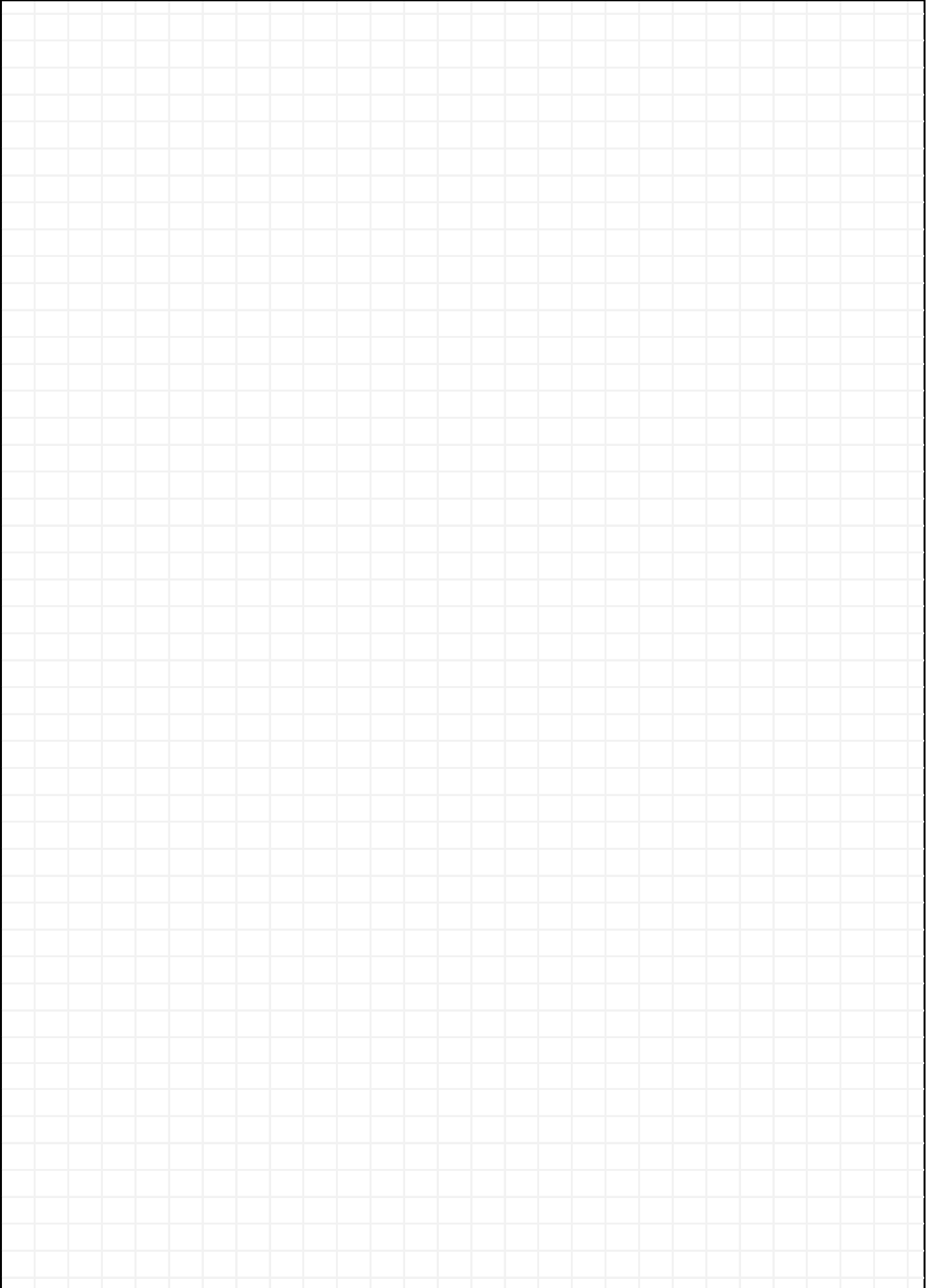
Kaskadenbewegung: $n = 0,6 \dots 0,7 \cdot n_{\text{Krit}}$

Kataraktbewegung: $n = 0,8 \dots 0,9 \cdot n_{\text{Krit}}$

Zerkleinerungsgrad

$$Z = \frac{x_{80,\alpha}}{x_{80,\omega}} \quad -$$

Beispiele



Ziel der Stofftrennung ist es, homogen verteilte Stoffgemische in Reinstoffe zu verwandeln. Dazu werden Stoffeigenschaften ausgenutzt, in denen sich die enthaltenen Reinstoffe unterscheiden.

Sedimentation

2.2.1

Notizen

Gewichtskraft

$$F_G = m \cdot g = \frac{\pi}{6} \cdot d_P^3 \cdot \rho_P \cdot g \quad N$$

Auftriebskraft

$$F_{\text{Auf}} = m_{\text{Fluid}} \cdot g = \frac{\pi}{6} \cdot d_P^3 \cdot \rho_{\text{Fluid}} \cdot g \quad N$$

Reibungskraft

$$F_{\text{Reib}} = c_{\text{Reib}} \cdot \frac{\rho_{\text{Fluid}}}{2} \cdot v_P^2 \cdot A_{\perp} \quad N$$

$$c_{\text{Reib}} = \frac{24}{\text{Re}_P}$$

laminarer Bereich: $\text{Re}_P \lesssim 1$

$$c_{\text{Reib}} = \frac{1}{3} \cdot \left(\sqrt{\frac{72}{\text{Re}_P}} + 1 \right)^2 \quad \text{emp} \quad 1$$

Übergangsbereich: $1 \lesssim \text{Re}_P \lesssim 10^4$

$$c_{\text{Reib}} = 0,44$$

turbulenter Bereich: $\text{Re}_P \gtrsim 10^4$; für starre Kugeln

Trägheitskraft

$$F_{\text{Träg}} = V_P \cdot (\rho_P + c_m \cdot \rho_{\text{Fluid}}) \cdot \frac{dv_P}{dt} \quad N$$

$c_m = 0,5$; für starre Kugeln

Bewegung eines (Einzel-)Teilchens im Schwerekraftfeld

$$\frac{dv_P}{dt} = \frac{g \cdot |\rho_P - \rho_{\text{Fluid}}|}{\left(\rho_P + \frac{\rho_{\text{Fluid}}}{2}\right)} - \frac{3 \cdot c_{\text{Reib}} \cdot \rho_{\text{Fluid}} \cdot v_P^2}{4 \cdot d_P \cdot \left|\rho_P + \frac{\rho_{\text{Fluid}}}{2}\right|} \quad \frac{m}{s^2}$$

$dv_P/dt = 0$: stationäre Sinkgeschwindigkeit - keine Beschleunigung

$$\vec{v}_P = \frac{|\rho_P - \rho_{\text{Fluid}}| \cdot g \cdot d_P^2}{18 \cdot \eta_{\text{Fluid}}} \quad \frac{m}{s}$$

Laminarer Bereich: $\text{Re}_P \lesssim 0,2$ | $\text{Ar} \lesssim 3,6$; alias Stokes-Gleichung

$$\vec{v}_P = \frac{\text{Re}_P \cdot \eta_{\text{Fluid}}}{\rho_{\text{Fluid}} \cdot d_P} \quad \frac{m}{s}$$

Übergangsbereich: $0,2 \lesssim \text{Re}_P \lesssim 10^4$ | $3,6 < \text{Ar} < 10^{10}$

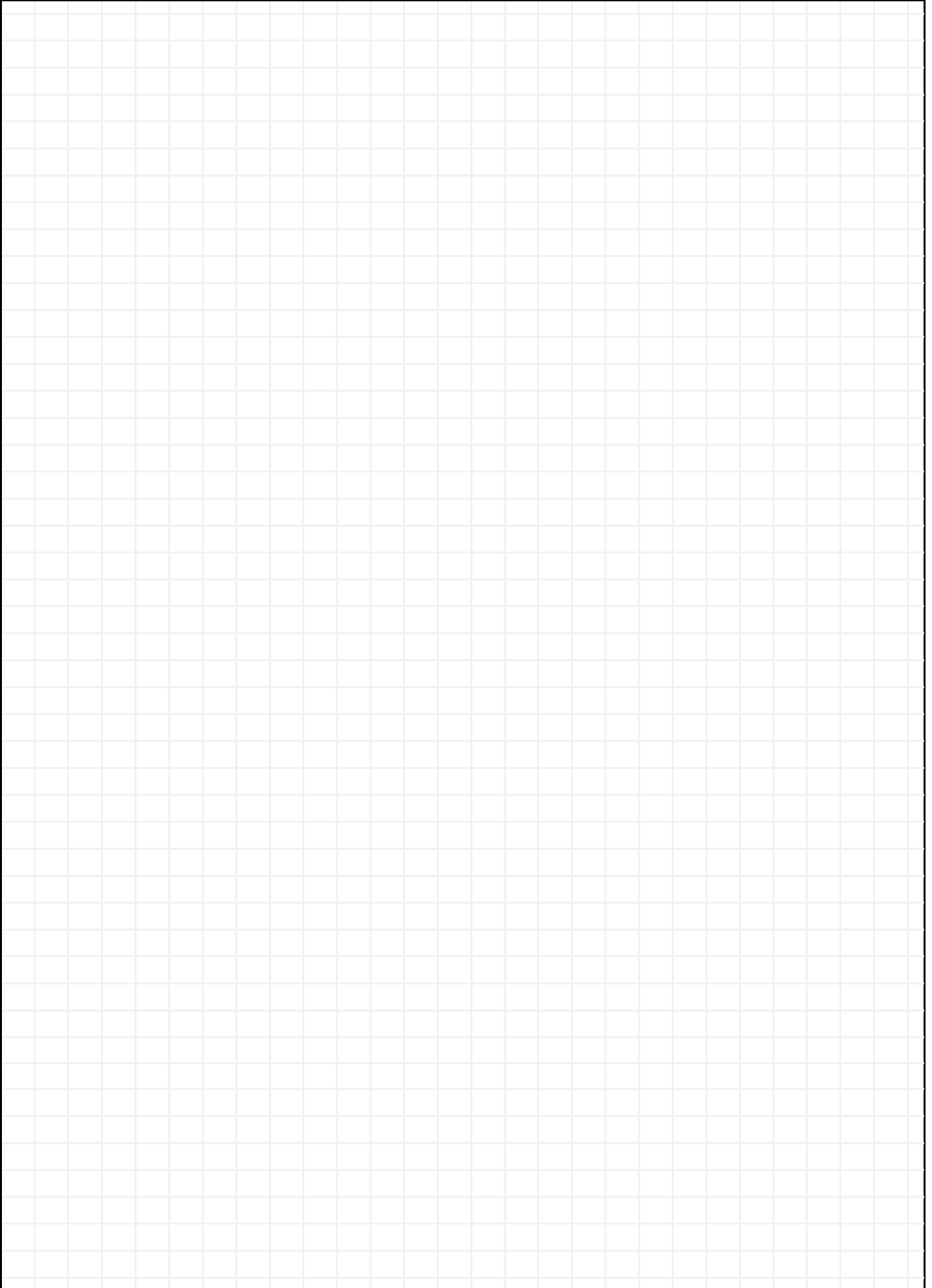
$$\text{Re}_P = 18 \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{\sqrt{\text{Ar}}}{9}} - 1 \right)^2 \quad \text{emp} \quad 1$$

Näherungsgleichung

1: nach H. Martin: CIT 1980, Vol.52, S.200 (Wiley)

Herleitung für ein
starres, glattes,
kugelförmiges Teilchen

Beispiele



Ziel der Stofftrennung ist es, homogen verteilte Stoffgemische in Reinstoffe zu verwandeln. Dazu werden Stoffeigenschaften ausgenutzt, in denen sich die enthaltenen Reinstoffe unterscheiden.

Sedimentation

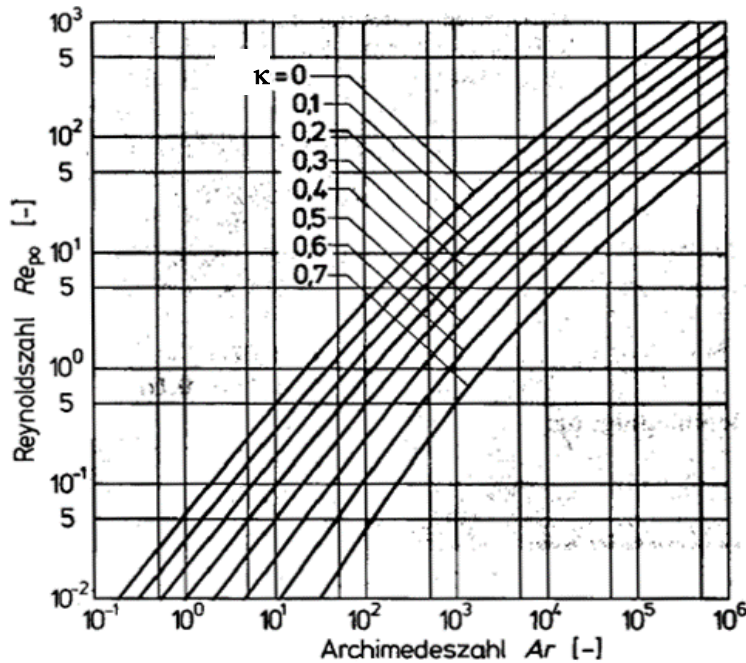
2.2.1

Notizen

Teilchenvolumenanteil für die Sinkgeschw. im Teilchenschwarm

$$\kappa = \frac{X}{X + \frac{\rho_P}{\rho_{\text{Fluid}}}}$$

X: Massebeladung



1

Auslegung eines horizontal durchströmtes Klärbeckens

2.2.1.1

Länge eines Rechteckklärbeckens

$$l_B = \frac{\dot{V}_{\omega 1}}{v_P \cdot b} \quad m$$

für laminare Strömung im Becken $Re < 2000$

$\dot{V}_{\omega 1}$: klarer Überlauf

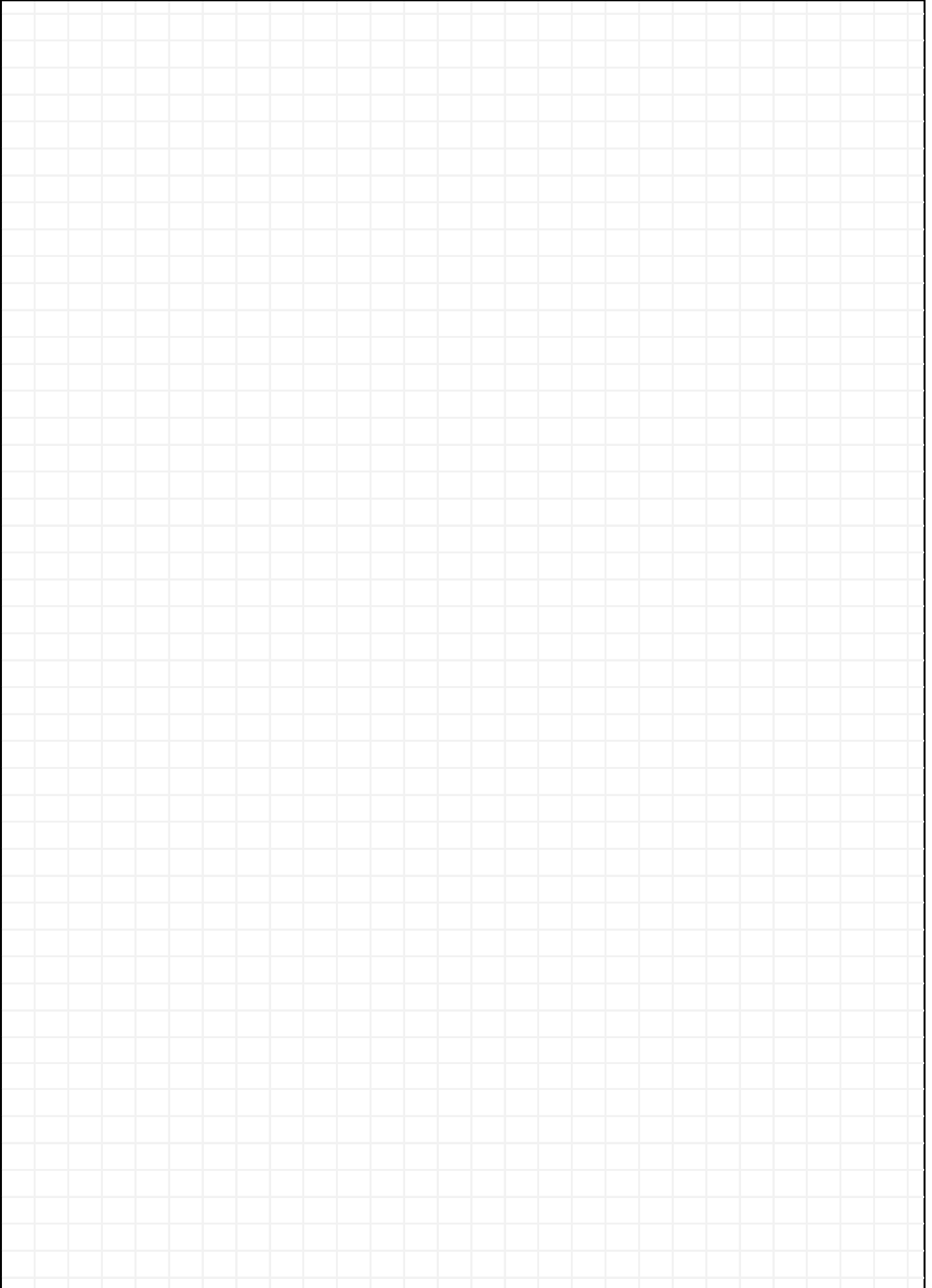
Durchströmgeschwindigkeit

$$v_P = \frac{\dot{V}_{\omega 1}}{A_{O, \text{Klär}}} \quad \frac{m}{s}$$

Hydraulischer Durchmesser

$$d_{\text{hydr}} = \frac{4 \cdot A_{\perp}}{u_{\text{ben}}} \quad m$$

Beispiele



Ziel der Stofftrennung ist es, homogen verteilte Stoffgemische in Reinstoffe zu verwandeln. Dazu werden Stoffeigenschaften ausgenutzt, in denen sich die enthaltenen Reinstoffe unterscheiden.

Filtration

2.2.2

Notizen

Druckverlust in einer Schüttung (Carman-Kozeny-Gleichung)

$$\Delta p_{\text{Sch}} = \left(\frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3 \cdot d_{32}^2} \right) \cdot \eta_F \cdot l \cdot \frac{\dot{V}_{\text{Filt}}}{A} \cdot c_{\text{KSch}} \quad Pa$$

bei laminarer Strömung

$c_{\text{KSch}} = 125 \dots 200$

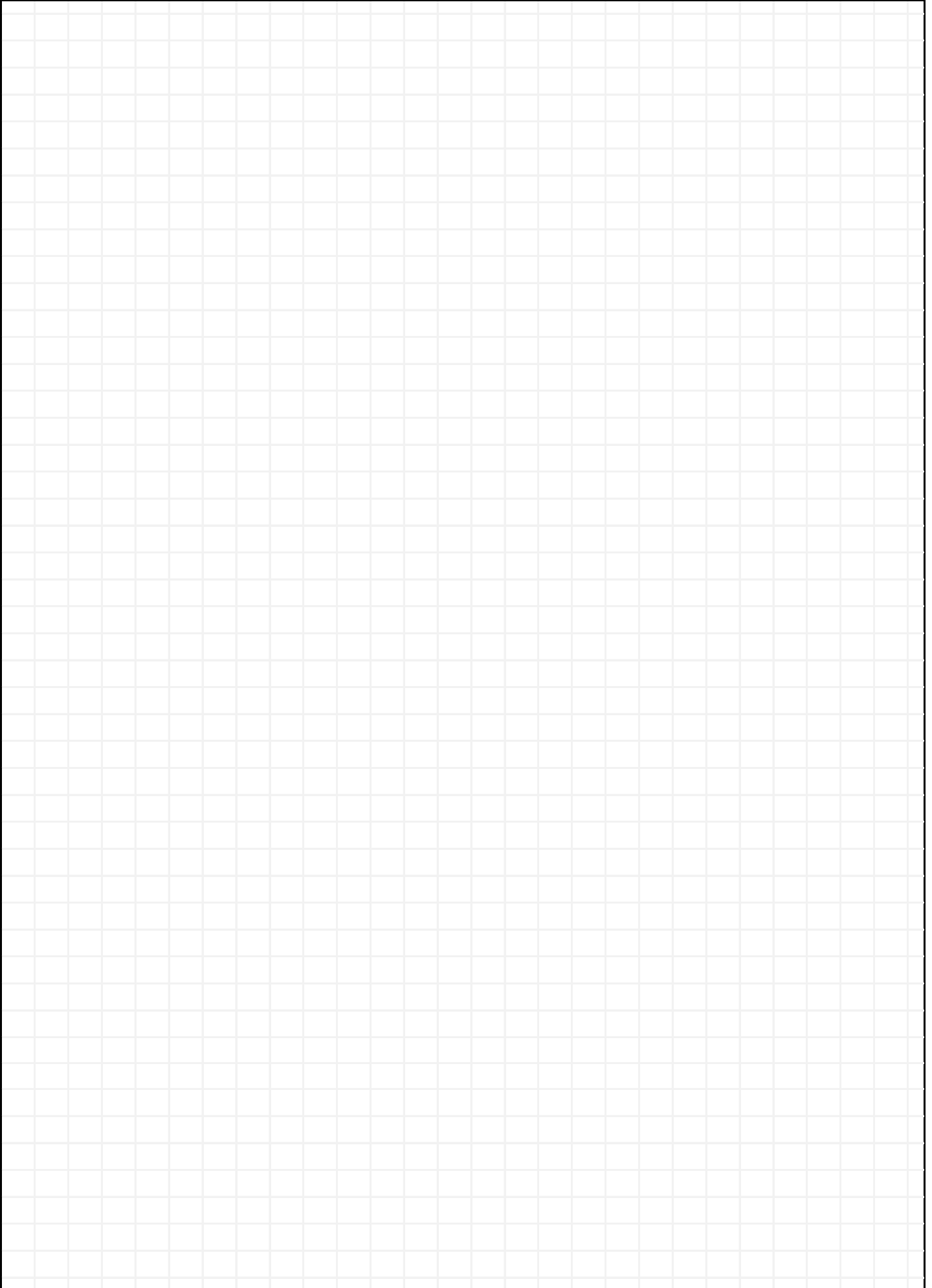
Differentielle Filterkuchengleichung

$$\frac{dl}{dt} = \frac{\Delta p}{\eta_{\text{Fluid}} \cdot (\alpha \cdot \gamma \cdot l + \beta)} \quad \frac{m}{s}$$

α, β, γ müssen experimentell bestimmt werden

$$\alpha = \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \cdot \frac{c_{\text{KSch}}}{d_{32}^2} \quad \frac{1}{m^2}$$

Beispiele



Ziel der Stofftrennung ist es, homogen verteilte Stoffgemische in Reinstoffe zu verwandeln. Dazu werden Stoffeigenschaften ausgenutzt, in denen sich die enthaltenen Reinstoffe unterscheiden.

Filtration

2.2.2

Notizen

Kuchenfiltration

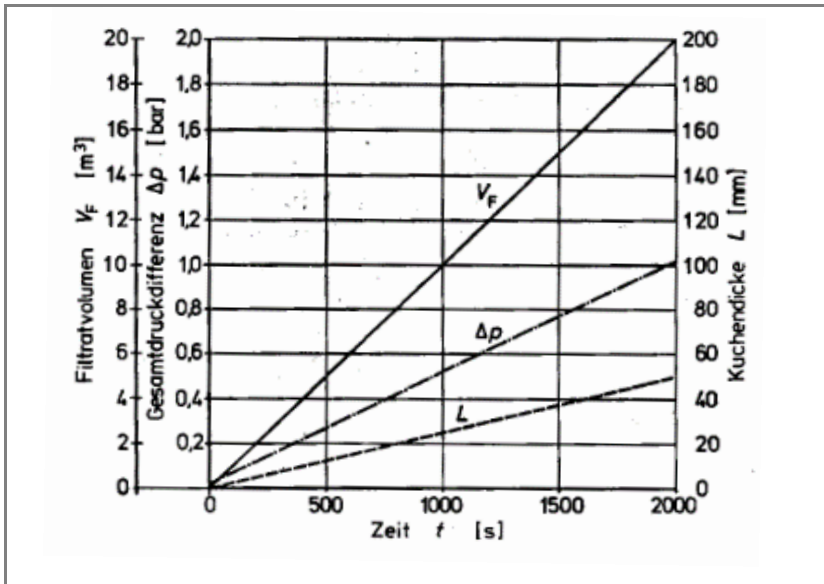
2.2.2.1

Filterkuchengleichung (Konstanter Durchsatz)

$$\Delta p = \frac{\dot{V}_{\text{Filt}}}{A} \cdot \eta_{\text{Fluid}} \cdot \left(\alpha \cdot \frac{\dot{V}_{\text{Filt}}}{A} \cdot \gamma \cdot t + \beta \right) \quad Pa$$

bei $t = 0 \rightarrow l = 0$

Beispiel



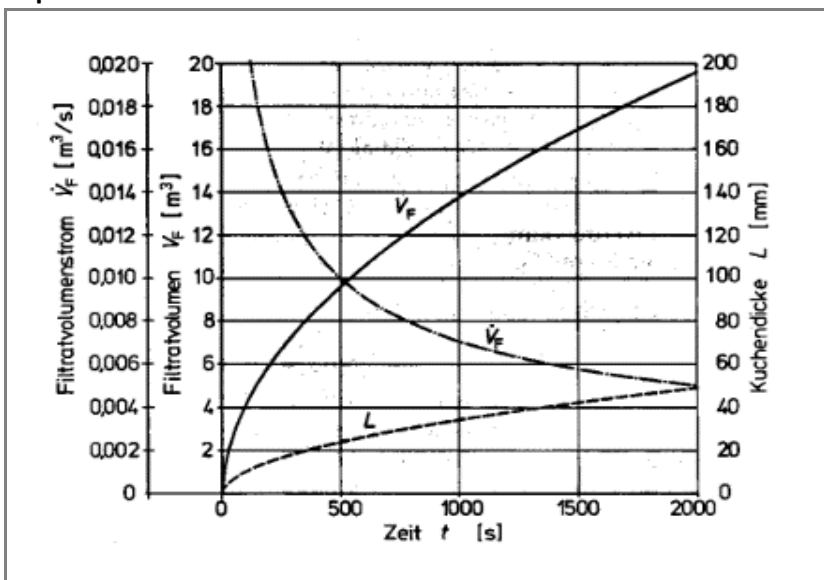
1

$$\begin{aligned} \dot{V}_F &= 0,01 \text{ m}^3/\text{s}, \varepsilon = 0,6, \\ \alpha_w &= 10^{12} \text{ 1/m}^2, f_M = \\ &10^9 \text{ 1/m}, \rho_s = 2000 \text{ kg/m}^3, \\ \rho_F &= 1000 \text{ kg/m}^3, \\ \eta_F &= 0,001 \text{ Pas}, X_s = 0,01, \\ X_a &= 0, A = 5 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Filterkuchengleichung (Konstanter Differenzdruck)

$$t = \frac{\eta_{\text{Fluid}} \cdot \beta}{\Delta p} \cdot l + \frac{\eta_{\text{Fluid}} \cdot \alpha \cdot \gamma}{\Delta p} \cdot \frac{l^2}{2} \quad s$$

Beispiel

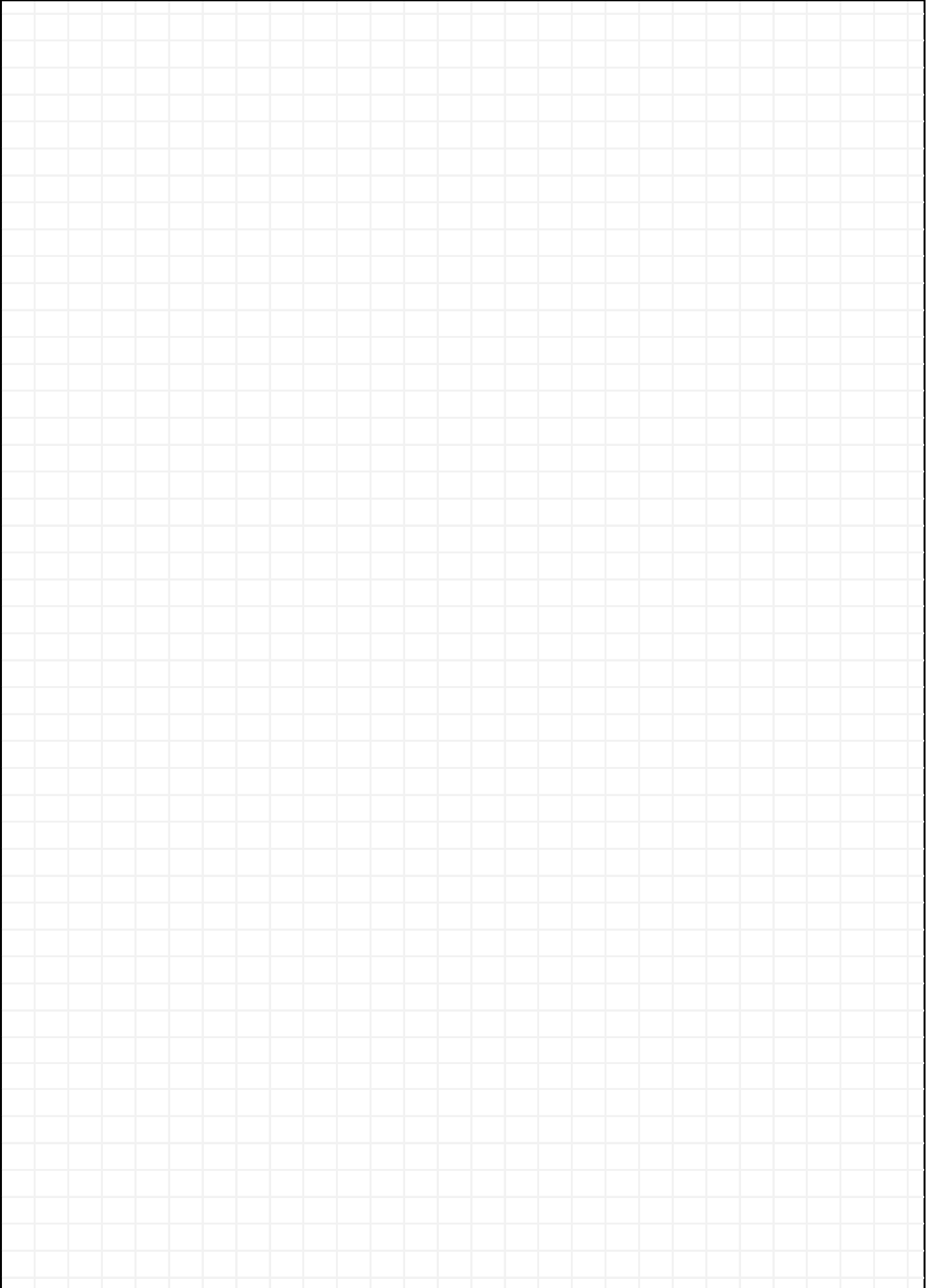


1

$$\begin{aligned} \dot{V}_F &= 0,01 \text{ m}^3/\text{s}, \varepsilon = 0,6, \\ \alpha_w &= 10^{12} \text{ 1/m}^2, f_M = \\ &10^9 \text{ 1/m}, \rho_s = 2000 \text{ kg/m}^3, \\ \rho_F &= 1000 \text{ kg/m}^3, \\ \eta_F &= 0,001 \text{ Pas}, X_s = 0,01, \\ X_a &= 0, A = 5 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\Delta p = 0,5 \text{ bar}$$

Beispiele



Mischen ist das Zusammenführen mehrerer Komponenten (g,l,s) mit dem Ziel ein homogenes Produkt zu erhalten.

Homogenisieren

2.3.1

Notizen

Umfangsgeschwindigkeit - Rührer

$$v_{\text{Rührer}} = \omega \cdot r_{\text{Rührer}} = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot r \quad \frac{m}{s}$$

Winkelgeschwindigkeit - Rührer

$$\omega_{\text{Rührer}} = 2 \cdot \pi \cdot n = \frac{v_{\text{Rührer}}}{r_{\text{Rührer}}} \quad \frac{1}{s}$$

Rührerleistung

$$P_{\text{Rührer}} = Ne \cdot \rho_L \cdot n^3_{\text{Rührer}} \cdot d^5_{\text{Rührer}} \quad W$$

Ne - Zahl im turbulenten Bereich ist konstant

Rührer - Reynoldszahl

$$Re_{\text{Rührer}} = \frac{n \cdot d_2^2 \cdot \rho}{\eta}$$

Mischzeit

$$\Theta = \frac{5,2}{n \cdot Ne^{1/3}} \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^2 \quad s$$

für Axialrührer im turbulenten Bereich

Suspendieren

2.3.2

Suspendierdrehzahl (Zwietering-Gleichung)

$$n_{js} = c_{\text{Zwiet}} \cdot \frac{d_p^{0,2}}{d^{0,85}} \cdot \left(\frac{g \cdot (\rho_s - \rho_L)}{\rho_L}\right)^{0,45} \cdot \nu^{0,1} \cdot X^{0,13} \quad \frac{1}{s}$$

für kugelförmige Partikel

c_{Zwiet} siehe Anhang A2.3.2

d in m; g in m/s^2 ; ρ in kg/m^3 ; ν in m^2/s ; X in %

!Werte in korrekter Einheit einsetzen!

Notizen

Zerkleinerungskonstanten

A2.1

c _{Bond} -Konstanten	Nass	Trocken	Dichte
	$m^{2,5}/s^2$		kg/m^3
Kohle	409	548	1630
Gips	294	394	2690
Eisenerz	556	745	3690
gebrannter Ton	51	69	2320
Glimmer	4842	6488	2890
Feldspat	420	563	2590

1

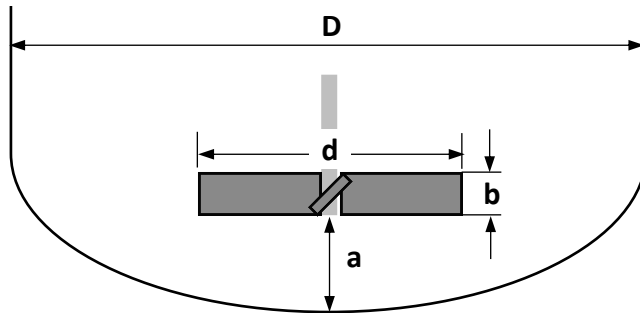
1: Zogg:"Einführung in die Mechanische Verfahrenstechnik":1993, Seite S.56 (Teubner Verlag)

2: Zogg:"Einführung in die Mechanische Verfahrenstechnik":1993, Seite S.142 (Teubner Verlag)

Notizen

Zwietering-Konstanten (c_{Zwiet}) für Klöpperböden

A2.3.2



Rührertyp	d	b	a	c_{Zwiet}
A310	D/2,4	-	D/4	6,9
	D/2			7,1
30° Schrägblattrührer	D/3	D/2,5	D/4	6,4
			D/6	7,1
			D/8	7,2
45° Schrägblattrührer	D/3,3	D/2,1	D/4	4,5
			D/8	4,3
	D/3	D/3,5	D/4	4,8
			D/6	4,6
	D/2,5	D/2,8	D/8	4,2
			D/4	4,7
	D/2	D/3,5	D/8	3,4
			D/4	5,2
	D/2	D/6	D/6	4,2
			D/8	3,7
	D/2	D/6	D/4	5,5
			D/8	5,5
	D/1,7	D/3,5	D/4	6,7
			D/6	5,1
			D/8	4,4
D/1,7	D/4,3	D/4	6,8	
		D/8	3,8	
D/1,4	D/5	D/4	5,4	
		D/8	4,5	
D/3	D/4	D/4	4,4	
		D/6	4,1	
		D/8	3,7	
90° Schrägblattrührer	D/3	D/5	D/4	4,4
			D/6	4,1
			D/8	4,1

1: Paul/Atiemo-Obeng/Kresta: "Handbook of Industrial Mixing": 2004, Seite S.560 (Wiley)

