

# Übungsaufgaben

## 1 Grundbegriffe/Bilanzen

### Aufgabe 1-1

Gegenstand der Mechanischen Verfahrenstechnik ist das Verändern der Eigenschaften und des Verhaltens (dispenser) Stoffsysteme mit mechanischen Mitteln.

Ausgehend von dieser Definition, welche grundsätzlichen Verfahren der stoffverarbeitenden Industrie fallen Ihrer Meinung nach in das Interessengebiet der MVT? Welche der Ihnen bekannten Stoffsysteme würden Sie als disperse Stoffsysteme bezeichnen?

### Aufgabe 1-2 (Bilanzen)

Einer biologischen Kläranlage fließen pro Tag  $2000 \text{ m}^3$  mechanisch vorgeklärtes Abwasser zu (Feststoffgehalt im Zulauf sehr gering). Die biologisch abbaubaren Substanzen liegen gelöst vor und können mit einem  $\text{BSB}_5$ -Wert von  $200 \text{ g/m}^3$  quantifiziert werden. Sie werden von den Mikroorganismen im Belebungsbecken bis auf einen Wert von  $20 \text{ g/m}^3$  abgebaut. Um den Abbau zu gewährleisten, darf eine „Raumbelastung“ des Beckens von  $1,2 \text{ kg BSB}_5$  pro Kubikmeter und Tag nicht überschritten werden.

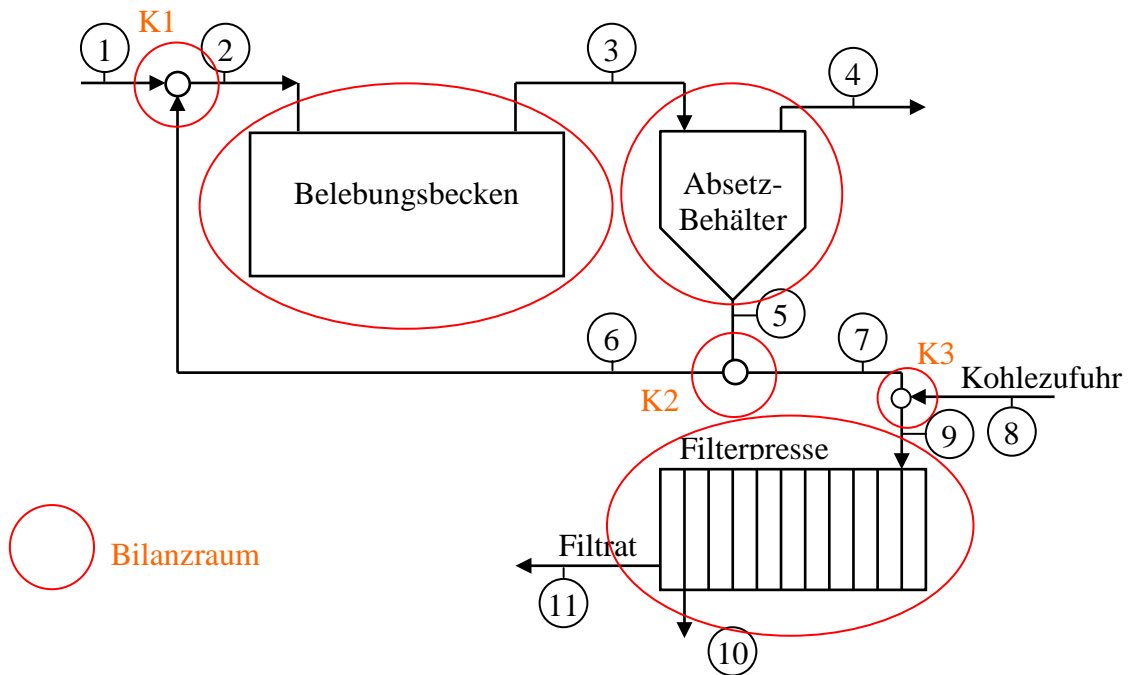
Mit dem biologischen Abbau ist eine Zunahme der Bakterienkonzentration verbunden (Belebtschlammproduktion). Es kann von einer Zunahme von  $1,5 \text{ kg TS}$  pro  $\text{kg}$  abgebauten  $\text{BSB}_5$  ausgegangen werden. Die Schlammkonzentration im Beckenablauf beträgt  $4 \text{ kg TS/m}^3$ . Der Ablauf des Beckens wird einem Absetzbehälter zugeführt. Die Klarphase ist nahezu feststofffrei, in der Schlammphase beträgt der Schlammgehalt  $40 \text{ kg/m}^3$ . Von dem Überschussschlamm wird ein Teil zurückgeführt, um eine konstante Konzentrationsverteilung im Becken zu gewährleisten. Der Rest des eingedickten Schlammes wird in einer nachgeschalteten Filterpresse auf einen Feststoffgehalt von 30 Gewichtsprozent entwässert.

Man bestimme:

- Volumenströme und Feststoffkonzentrationen sämtlicher Stoffströme,
- die Beckengröße sowie die mittlere Verweilzeit des Abwassers im Becken.
- Der Literatur kann entnommen werden, dass bei einer Mischung des aus dem Absatzbecken ablaufenden Schlammes mit einem Kohleschlamm eine bessere Entfeuchtung mit einer Filterpresse möglich ist. Zudem wird dadurch der Heizwert erhöht. Beide Faktoren sind für eine Verbrennung des Schlammes von Vorteil. Bei einem Mischungsverhältnis von  $1,3 \text{ kg TS Kohleschlamm}$  zu  $1 \text{ kg TS Klärschlamm}$  erhält man nach der Filterpresse eine Wasserbeladung des Klärschlammes von  $0,7 \text{ kg Wasser pro kg TS Klärschlamm}$ . Man bestimme für diesen Fall die zuzuführende Kohlemenge sowie die sich einstellende Schlamm- und Wassermenge an der Filterpresse, wenn man trockene Kohle zugibt. Wie groß ist die Wassermenge, die infolge der Kohlenzugabe nicht mehr beim Verbrennungsvorgang eingedampft werden muss?

Als wie realitätsnah schätzen Sie die Annahmen ein, die Sie für die Berechnung treffen mussten? Bewerten Sie die Zugabe des Kohleschlammes unter verfahrenstechnischen und anderen Gesichtspunkten!

**Fließschema:**



**Zusammenfassung:**

Stelle	Wasservolumenstrom, m <sup>3</sup> /d		Belebtschlamm-konzentration, kg/m <sup>3</sup> W		BSB <sub>5</sub> , g/m <sup>3</sup>
1	2000		0		200
2	2207,4		3,76		
3	2207,4		4		20
4	1986,7		0		-
5	220,7		40		-
6	207,4		40		-
7	13,3		40		-
8	-	-	-	-	-
9	13,3	13,3	40	92	-
10	1,24	0,86	428,6	1428,6	-
11	12,1	12,4	0	0	-

Minimales Beckenvolumen: 333 m<sup>3</sup>

Mittlere Verweilzeit: 3,6 h

**Aufgabe 1-3 (Bilanzen mit Partikelfractionen)**

In einer Mahlanlage ist hinter der Kugelmühle ein Siebklassierer angeordnet. Der Siebüberlauf (Grobkorn) wird in die Mühle zurückgeführt. Im Experiment wurde folgende Trenncharakteristik des Klassierers ermittelt:

Partikelgrößenintervall	ins Feingut gelangter Massenanteil
152 ... 295 $\mu\text{m}$	0.1
73 ... 152 $\mu\text{m}$	0.7
< 73 $\mu\text{m}$	0.9

Das Aufgabegut besitzt folgende Massenverteilung:

Partikelgröße	$Q_3(x)$
295 $\mu\text{m}$	100 %
152 $\mu\text{m}$	50 %
73 $\mu\text{m}$	20 %

Die Bruchfunktion der Mühle wurde bestimmt zu:

	Aufgabegut 152 ... 295 $\mu\text{m}$	Aufgabegut 73 ... 152 $\mu\text{m}$	Aufgabegut < 73 $\mu\text{m}$
Produkt 152 ... 295 $\mu\text{m}$	0.6	0	0
Produkt 73 ... 152 $\mu\text{m}$	0.3	0.6	0
Produkt < 73 $\mu\text{m}$	0.1	0.4	1

Ermitteln Sie die Partikelgrößenverteilung des Endproduktes und die Menge des zurückgeführten Siebüberlaufs!

**Ergebnis:**

Massenverteilung des Produktes:

Partikelgrößenintervall	$q_3(x)$
152...295 $\mu\text{m}$	6,5 %
73...152 $\mu\text{m}$	43,2 %
< 73 $\mu\text{m}$	50,3 %

Zurückgeführter Massenstrom: 83 % des Aufgabegutes

**Aufgabe 1-4 (Mengenangaben, Bilanzen)**

Ein feststoffhaltiges industrielles Abwasser ( $50 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $c_m = 180 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_L = 1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_S = 2600 \text{ kg/m}^3$ ) soll mit einem Hydrozyklon vorgeklärt werden, während in einem nachgeschalteten Sedimentationsbecken der Feinanteil abgeschieden wird. Vom Hydrozyklon sind der Gesamtabscheidegrad  $\eta$  und das Volumenstromverhältnis  $\tau$  von Oberlauf zu Unterlauf bekannt ( $\eta = 0.6$ ,  $\tau = 5$ ).

- a) Berechnen Sie die Volumenkonzentration, die Massenbeladung und den Massenanteil des Feststoffes im Abwasser!

- b) Berechnen Sie für das Sedimentationsbecken das stündlich anfallende Dickschlammvolumen ( $\varphi = 40$  Vol.%)! Der Klarlauf des Beckens sei feststofffrei.

**Ergebnis:**

Anfallende Dickschlammmenge:  $V_D = 3,5 \text{ m}^3/\text{h}$

## 2 Disperse Systeme

### Aufgabe 2-1 (Mischdichte)

In einer diskontinuierlich arbeitenden Rührmaschine soll eine Suspension hergestellt werden. Die Flüssigkeitskomponenten bestehen aus 85 Liter Wasser ( $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ kg/m}^3$ ), 12 Liter Glycerin ( $\rho_{\text{Gly}} = 1260 \text{ kg/m}^3$ ) und den zerkleinerten Feststoffkomponenten von

- 12 kg Feststoff der Komponente A ( $\rho_A = 1420 \text{ kg/m}^3$ )
- 4 kg Feststoff der Komponente B ( $\rho_B = 1690 \text{ kg/m}^3$ )
- 2 kg Feststoff der Komponente C ( $\rho_C = 1320 \text{ kg/m}^3$ )

Berechnen Sie die Dichte der Suspension!

**Ergebnis:**

Mischdichte:  $\rho_M = 1080,3 \text{ kg/m}^3$

### Aufgabe 2-2 (hydraulischer Durchmesser)

Mit welchen Kenngrößen lassen sich poröse Stoffsysteme charakterisieren?

In einem Bauunternehmen sollen täglich 400 Sack Trockenmischung à 50 kg aus Kies ( $\rho_K = 3000 \text{ kg/m}^3$ ) und Zement ( $\rho_Z = 2550 \text{ kg/m}^3$ ) im Verhältnis 4:1 gemischt und abgepackt werden. Die Trockenmischung besitzt eine Volumenporosität  $\varepsilon = 0,45$  sowie eine massenspezifische Oberfläche von  $20 \text{ m}^2/\text{kg}$ .

- a) Berechnen Sie, wie viele Bunker der Nenngröße  $5 \text{ m}^3$  bestellt werden müssen, um eine Tagesproduktion Trockenmischung zu speichern!
- b) Berechnen Sie den hydraulischen Durchmesser des Produktes!
- c) Welche Papiermenge wird benötigt, um eine Tagesproduktion abzupacken? Die Papiersäcke entsprechen Quadern mit den fest eingestellten Abmaßen Länge 0,6 m und Breite 0,4 m.

**Ergebnis:**

Benötigte Bunkeranzahl: 3

Hydraulischer Durchmesser:  $56,5 \mu\text{m}$

Papierbedarf:  $297 \text{ m}^2$

### 3 Partikelcharakterisierung

#### Aufgabe 3-1 (Partikelmerkmale)

Erläutern Sie das Konzept des „Äquivalentdurchmessers“!

Berechnen Sie von einem quaderförmigen Partikel der Abmessungen  $10\ \mu\text{m} \times 10\ \mu\text{m} \times 30\ \mu\text{m}$  die Äquivalentdurchmesser in Bezug auf:

- die Projektionsfläche der stabilsten Lage,
- den Umfang der stabilsten Lage,
- das Volumen,
- die spezifische Oberfläche,
- die Oberfläche,
- Sinkgeschwindigkeit (Annahme:  $x_{Stokes} = \sqrt[4]{\Psi} \cdot x_V$ ,  $\Psi = \text{Sphärizität}$ ).

Welche Partikelmerkmale würden Sie in den folgenden Fällen messen wollen:

- Feststoffpartikel in Abwasser,
- Katalysatorpartikel,
- Farbpigmente
- Asbestfasern?

#### Ergebnis:

$$x_{SV} = 12,9\ \mu\text{m} \quad x_{Stokes} = 16,5\ \mu\text{m} \quad x_V = 17,9\ \mu\text{m} \quad x_{Pstab} = 19,5\ \mu\text{m} \quad x_S = 21,1\ \mu\text{m} \quad x_{Ustab} = 25,5\ \mu\text{m}$$

#### Aufgabe 3-2 (Verteilung, Momente)

Die Projektierung einer Anlage zum pneumatischen Transport von PVC-Granulat erfordert die Kenntnis des granulometrischen Zustandes des Stoffsystems. Zu diesem Zweck wurde mit 100 g des Granulates eine Siebanalyse durchgeführt. Die Dichte wird mit  $\rho_S = 1238\ \text{kg/m}^3$  angegeben.

Sieböffnungsweite $x_i$ in $\mu\text{m}$	250	200	160	125	100	71	50	<50
Rückstand $m_i$ in g	0	0,09	24,85	56,39	11,97	5,59	0,79	0,11

Dokumentieren Sie das Analysenergebnis in Form eines Histogrammes sowie durch Darstellung von Verteilungsdichte und Verteilungsfunktion (auf Millimeterpapier oder mit geeigneter Software)! Prüfen Sie eine Approximation der Verteilung durch eine 2-parametrische logarithmische Normalverteilung (LNVT)!

Bestimmen Sie den Modal- und Mittelwert der Massenverteilung sowie den Sauterdurchmesser!

#### Ergebnis:

$$x_{Modal} = 142,5\ \mu\text{m}, \quad x_{Mittel} = 144,3\ \mu\text{m}, \quad x_{ST} = 137,9\ \mu\text{m}$$

$$\text{LNVT-Approximation:} \quad x_{Modal} = 125\ \mu\text{m}, \quad \sigma = 0,24$$

**Aufgabe 3-3 (spezifische Oberfläche)**

Was ist die spezifische Oberfläche eines Partikelsystems? Für welche Prozessen könnte sich die Kenntnis der spezifischen Oberfläche als nützlich erweisen?

**Aufgabe 3-4 (Partikelmerkmal und Mengenart)**

Erläutern Sie, inwiefern die Kenntnis des gemessenen Partikelmerkmals und der Mengenart für die Bewertung einer Partikelgrößenverteilung heranzuziehen ist.

Um die Genauigkeit von Partikelmessgeräten zu überprüfen, werden häufig eng verteilte Stoffsysteme mit kugelförmigen Teilchen verwendet. Ein derartiges Referenzstoffsystem aus Mikroglasskugeln, die mittels Windsichtung fraktioniert (klassiert) wurden, wurde sowohl mittels optischer Einzelpartikelzählung, als auch mittels Sedimentationsanalyse untersucht.

Einzelpartikelzähler ( $x_{\min} = 1,47 \mu\text{m}$ ):

Größenklasse	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Klassengrenzen in $\mu\text{m}$	2,14	3,32	4,96	7,11	9,87	13,34	17,79	23,67	31,90	44,15
Partikelanzahl	8067	16720	33881	40187	26547	13934	5720	1423	161	29

Röntgensedimentometer ( $x_{\max} = 20 \mu\text{m}$ ):

Partikelgröße in $\mu\text{m}$	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10	15
Massenverteilung %	0	0,3	3	28,5	60	84	92	96,5	98	99,5

Vergleichen Sie die ermittelten Verteilungen (für die selbe Mengenart) und kommentieren Sie mögliche Unterschiede! Bestimmen Sie jeweils den Sauterdurchmesser und den arithmetischen Mittelwert!

**Ergebnis:**

Einzelpartikelzähler:  $x_{1,0} = 6,5 \mu\text{m}$ ,  $x_{1,3} = 13,6 \mu\text{m}$ ,  $x_{ST} = 10,9 \mu\text{m}$

Röntgensedimentometer:  $x_{1,3} = 5,95 \mu\text{m}$ ,  $x_{ST} = 5,6 \mu\text{m}$

**Aufgabe 3-5 (Verteilung, Momente)**

Von einer Probe an Glaskugeln, die zum Sandstrahlen eingesetzt werden sollen, wurden lichtmikroskopisch die Durchmesser bestimmt. Die gemessenen Partikelgrößen lagen zwischen  $50 \mu\text{m}$  und  $250 \mu\text{m}$ . Dieser Größenbereich wurde in zehn Klassen unterteilt, für die die folgenden Häufigkeiten ermittelt wurden:

Klasse i:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ob. Klassengrenze $x_i$ , $\mu\text{m}$ :	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250
Anzahl $n_i$ :	2	13	47	27	19	16	38	51	7	1

- Berechnen Sie die Anzahl- und die Volumenverteilung
- Stellen Sie jeweils Dichte- und Summenfunktion grafisch dar!
- Ermitteln Sie aus den Diagrammen die Modal- und Medianwerte!

**Ergebnis:** $x_{\text{mod},0} = 100 \mu\text{m}$  und  $200 \mu\text{m}$ ,  $x_{50,0} = 153 \mu\text{m}$  $x_{\text{mod},3} = 200 \mu\text{m}$  und  $200 \mu\text{m}$ ,  $x_{50,0} = 191 \mu\text{m}$ 

## 4 Sedimentation I

### Aufgabe 4-1 (Dallendörfer)

Warum beschäftigt sich die Mechanische Verfahrenstechnik mit dem Sedimentationsverhalten von Partikelsystemen?

In einem Sedimentationsapparat nach DALLENDÖRFER/LANGHAMMER ist im Rahmen einer Sedimentationsanalyse von Quarzpulver ( $\rho_S = 2650 \text{ kg/m}^3$ ) die Sedimentationszeit für ein kugelförmiges Einzelpartikel von der Größe  $x_P = 25 \mu\text{m}$  bei einer Sedimentationshöhe von  $H = 210 \text{ mm}$  zu berechnen. Als Suspensionsmittel wird destilliertes Wasser eingesetzt ( $\rho_L = 1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $\eta_L = 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ).

**Ergebnis:**

Sedimentationszeit: 6,23 min

### Aufgabe 4-2 (Retardationsstrecke)

Die Mahlung eines Feststoffes ( $\rho_S = 2650 \text{ kg/m}^3$ ) soll in einem Kollergang erfolgen, der aus zwei Walzen ( $\varnothing = 200 \text{ mm}$ ) am Ende einer 1,3 m langen Achse besteht, die sich in horizontaler Ebene mit  $340 \text{ min}^{-1}$  um ihren Mittelpunkt dreht. Über dem Kollergang ist in 2 m Höhe eine Abzugshaube angebracht. Schätzen Sie den minimalen Abluftstrom, um sicherzustellen, dass das beim Mahlprozess entstehende Feinstkorn kleiner  $50 \mu\text{m}$  abgesogen wird!

**Ergebnis:**benötigter Abluftstrom: 5,75 m<sup>3</sup>/s

### Aufgabe 4-3 (Sedimentation von Partikelkollektiven)

Wiederholen Sie, welche Aspekte bei der Verwendung von Ergebnissen einer Partikelgrößenanalyse beachtet werden müssen?

Mit einer optischen Zählmethode wurde die Partikelgrößenverteilung einer Mineralsuspension ( $\rho_S = 2200 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_L = 1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $\eta_L = 0,0012 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ) als annähernd logarithmische Normalverteilung bestimmt, wobei 50 % der Partikel kleiner als  $115 \mu\text{m}$  und 98% kleiner als  $236 \mu\text{m}$  registriert wurden.

Welche Sinkgeschwindigkeiten weisen die massenmäßig kleinsten Partikel in einer Suspension mit 11% Feststoffvolumenanteil auf, wenn der Partikelformfaktor (Sphärizitätsfaktor) 0,76 beträgt? Welche Sinkgeschwindigkeit erreichen die größten Partikel?

**Ergebnis:**Sinkgeschwindigkeit für  $x_{\text{min}}$ : 0,72 mm/s

**Aufgabe 4-4 (Sedimentation von Flocken)**

Welche Möglichkeiten zur Forcierung der Sedimentation kennen Sie?

Eine Kaolin-Suspension ( $x_p = 5 \mu\text{m}$ ,  $\phi_s = 0,2 \text{ Vol.}\%$ ,  $\rho_s = 2550 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_L = 1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $\eta_L = 0,0012 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ) soll in einem Sedimentationsbecken geklärt werden. Zur Erhöhung der Sinkgeschwindigkeit ist eine Flockung der Suspension vorgesehen.

a) Nach Wessely besteht für dieses System folgender Zusammenhang zwischen Flockenporosität und Primärteilchenzahl:  $\lg(1-\varepsilon) = -0,7 \cdot \lg(N)$ . Berechnen Sie Porosität, Flockendurchmesser und Flockendichte einer 10 bzw. 100 Teilchen umfassenden Flocke sowie den zugehörigen Dispersphasenanteil!

b) Mit welcher Geschwindigkeit würden derartige Flocken sedimentieren, wenn diese als isoliert voneinander angesehen werden dürfen? Erläutern Sie die Grenzen dieses Vorgehens!

c) Vergleichen Sie die in b) ermittelten Sinkgeschwindigkeiten mit der einer ungeflockten Suspension!

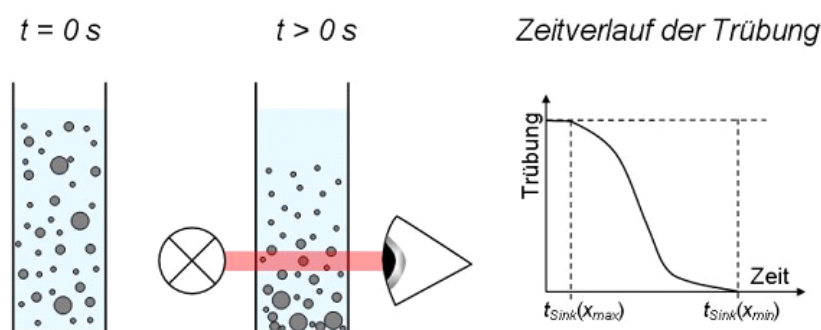
**Ergebnis:**

Sinkgeschwindigkeiten:  $N = 1: 0,017 \text{ mm/s}$ ;  $N = 10: 0,046 \text{ mm/s}$ ;  $N = 100: 0,102 \text{ mm/s}$

**Aufgabe 4-5 (Sedimentationsanalyse)**

Welche Voraussetzungen müssen erfüllt sein, um aus dem Sedimentationsverhalten einer Suspension auf die Partikelgröße(nverteilung) schließen zu können?

Ein häufiges Prinzip zur Bestimmung der Partikelgrößenverteilungen aus Sedimentationsexperimenten besteht darin, die Abnahme der Partikelkonzentrationsabnahme in einer bestimmten Höhe unter dem Flüssigkeitsspiegel zu messen (s. Abbildung). Die Partikelkonzentration kann z.B. aus der Schwächung (Trübung) von Licht oder von Röntgenstrahlen berechnet werden.



Für ein  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -Pulver ( $\rho_s = 3200 \text{ kg/m}^3$ ,  $\Psi = 0,68$ ) wurden in einem solchen Experiment (Sedimentationshöhe = 1000 mm,  $\phi = 5 \text{ Vol.}\%$ ) folgende charakteristische Sinkzeiten bestimmt:

- $t_{s,\text{min}} = 25 \text{ s}$
- $t_{s,\text{max}} = 3260 \text{ s}$

Als Suspensionsmittel wurde destilliertes Wasser eingesetzt ( $\vartheta = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\rho_L = 997,2 \text{ kg/m}^3$ ,  $\eta_L = 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ).

Berechnen Sie die minimale und maximale Partikelgröße des  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -Pulvers!

**Ergebnis:**  $x_{\text{min}} = 16,4 \mu\text{m}$ ,  $x_{\text{max}} = 357 \mu\text{m}$



## 5 Sedimentation II, Trennaufgaben

### Aufgabe 5-1 (Kläreindicker)

Informieren Sie sich über die prinzipiellen Bauformen von Kläreindickern!

In einem Bergbaubetrieb wird das gewonnene erzhaltige Ganggestein mittels Kugelmöhlen zerkleinert, anschließend erfolgt durch Flotation eine Trennung des Erzes vom Abraum. Von der so entstehenden Abraumsuspension ( $V = 540 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $c_m = 240 \text{ kg/m}^3$ ), die als mineralische Suspension bereits in Aufgabe 4-3 vorgestellt wurde, soll ein Teil des eingesetzten Waschwassers aus ökonomischen Gründen vollständig geklärt wieder zum Einsatz kommen. Um den anfallenden Schlamm transportieren zu können, muss sein Feststoffvolumengehalt mindestens 0,6 betragen.

Prüfen Sie, ob die Klärung der Suspension mittels Kläreindicker erfolgen kann, wenn dem Betrieb als möglicher Standort für die Anlage eine Rechteckfläche von  $25 \text{ m} \times 20 \text{ m}$  zur Verfügung steht!

#### **Ergebnis:**

Sie kann erfolgen.

### Aufgabe 5-2 (Zentrifugation)

Beschäftigen Sie sich mit den Vor- und Nachteile des Zentrifugierens!

Aus einer wässrigen Suspension ( $\rho_S = 3000 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_L = 1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $\eta_L = 0,001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ) soll mittels einer Vollmantelzentrifuge ( $D_Z = 700 \text{ mm}$ ,  $L_Z = 500 \text{ mm}$ ,  $n = 1200 \text{ min}^{-1}$ ) der Feststoff zurückgewonnen werden. Der mittlere Durchsatz beträgt  $25 \text{ m}^3/\text{h}$ . Die abzutrennenden Partikel besitzen näherungsweise Kugelform, ihre gegenseitige Beeinflussung ist zu vernachlässigen. Die Zentrifuge wird mit 50 % Füllung betrieben.

- Bestimmen Sie den mittleren Durchmesser  $D_{FR}$  des sich in der Zentrifuge einstellenden Flüssigkeitsringes!
- Berechnen sie das Beschleunigungsvielfache  $z$  für die Zentrifuge in Bezug auf diesen Durchmesser!
- Ermitteln Sie die Trennteilchengröße, wenn die Länge der eigentliche Trennzone nur 90% der Zentrifugenlänge beträgt!
- Welcher Durchsatz kann realisiert werden, wenn die Trennteilchengröße  $x_{Tr} = 3 \text{ }\mu\text{m}$  betragen soll?

#### **Ergebnis:**

Durchmesser  $D_{FR}$ : 0,597 m

Beschleunigungsvielfaches: 481

Trennteilchengröße: 4,4  $\mu\text{m}$

Volumendurchsatz: 12,0  $\text{m}^3/\text{h}$

### Aufgabe 5-3 (laminare Querstromklassierung)

Aus einem feststoffhaltigem Prozessabwasser ( $V = 30 \text{ l/min}$ ,  $\rho_L = 1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $\eta_L = 0,001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ,  $c_S = 25 \text{ kg/m}^3$ ) sollen die groben Partikel mit Hilfe eines Querstromklassierers abge-

schieden werden. Die Partikel ( $\rho_s = 2400 \text{ kg/m}^3$ ) gelten als logarithmisch normalverteilt ( $x_{50,3} = 70 \text{ }\mu\text{m}$ ;  $\sigma_{\ln} = 0,6$ ). Im Klassierer wird eine ideale Trennung sowie ein konstantes Strömungsprofil über den Querschnitt vorausgesetzt. Die Breite des Kanals beträgt 25 cm, seine Höhe 40 cm.

Berechnen Sie unter der Voraussetzung einer 80 %-igen Abtrennung des Feststoffes:

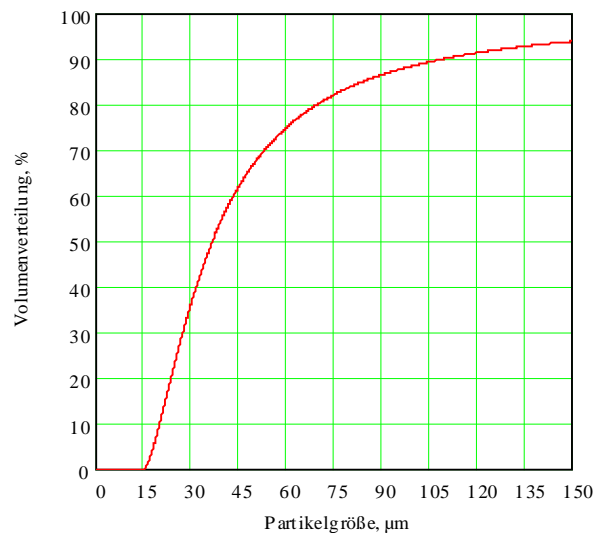
- die Trennteilchengröße,
- die Länge des Querstromklassierers, wenn die Ansaugstelle für den Trüblauf 30 cm unter dem Einlauf liegt,
- die Feststoffkonzentration im Klar- und Trüblauf,
- die Veränderung des Gesamtabscheidegrades, wenn der Durchsatz durch den in b) ausgelegten Klassierer auf 50 l/min erhöht wird!

### Ergebnis:

Trennteilchengröße:	42 $\mu\text{m}$
Länge des QS-Klassierers:	1.1 m
Klarlauf:	6,7 $\text{kg/m}^3$
Trüblauf	80 $\text{kg/m}^3$
Gesamtabscheidegrad:	66,1 %

### Aufgabe 5-4 (Längsbecken)

Ein industrielles Abwassers ( $7,2 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $c_s = 30 \text{ kg FS/m}^3$ ,  $\rho_s = 1400 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_L = 1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $\eta_L = 0.001 \text{ Pas}$ ) soll nach Vorreinigung und Belebtschlammbecken einer Nachklärung unterzogen werden, um die in den Vorfluter eingeleitete Feststoffmenge auf 1 kg/d zu begrenzen. Zu diesem Zweck wird geprüft, ob eine verfügbare Freifläche ( $8 \text{ m} \times 23 \text{ m}$ ) ausreicht, um ein Längsbecken zu errichten, das die erforderliche Trennleistung vollbringt. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde die Partikelgrößenverteilung des Feststoffes (s. Abbildung) und der Feststoffgehalt des Sedimentes (40 Vol.-%) bestimmt.



Berechnen Sie:

- den erforderlichen Gesamtabscheidegrad,
- die Trennteilchengröße bei idealer Trennung,
- die Feststoffmassenkonzentration und das stündlich anfallende Volumen des Dick-schlammes sowie den Volumenstrom des Überlaufs,
- die Mindestbreite des Beckens, damit eine laminare Horizontalströmung gewährleistet ist ( $Re_{kr} = 2000$ ; die Beckenbreite sei dreimal größer als die effektive Höhe), und
- die zu d) und b) gehörige Mindestlänge des Beckens!

Bewerten Sie

- f) ob die Freifläche zur Errichtung des Längsbeckens ausreicht; beachten Sie neben einem Sicherheitszuschlag (20%), dass die tatsächliche Beckenlänge (Baulänge) ca. 20% größer ist als die zur Klärung genutzte Beckenlänge
- g) ob das in e) berechnete Becken (inkl. Sicherheitszuschlag) auch im Überlastbetrieb (Volumenstrom +10%, Feststoffkonzentration +20%) die geordnete Trennleistung erbringt

**Ergebnis:**

Trennteilchengröße: 15  $\mu\text{m}$

Überlauf: 6,8  $\text{m}^3/\text{h}$

Mindestbreite des Beckens: 2,4 m

Mindestlänge des Beckens: 17 m

## 6 Filtration

### Aufgabe 6-1 (Schwerkraftfilter)

Welche Mechanismen der Partikelabscheidung treten bei der Tiefenfiltration auf?

Zur Sicherung der Umweltverträglichkeit seiner Produktion entscheidet ein Chemiebetrieb, dass die Abwässer ( $\rho_L = 1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $\eta_L = 0,001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ) mit Hilfe eines Schwerkraftfilters zu reinigen sind. Der als Filtermittel eingesetzte Quarzsand (Partikel:  $\rho_S = 2700 \text{ kg/m}^3$ , Schüttung:  $\rho_{\text{Sch}} = 1860 \text{ kg/m}^3$ ) lässt sich durch eine LNVT ( $x_{50,0} = 250 \mu\text{m}$ ;  $\sigma_{\text{In}} = 0,576$ ) beschreiben.

Wie hoch muss die Wassersäule über dem Filter ( $\varnothing = 1,4 \text{ m}$ ) bei einer Filtermittelschichthöhe von  $h_{\text{Sch}} = 1 \text{ m}$  mindestens sein, damit ein Abwasserdurchsatz von  $V = 10 \text{ m}^3/\text{h}$  erzielt wird? (Der Druckverlust infolge der abgelagerten Feststoffbestandteile des Abwassers sei vernachlässigbar.)

**Ergebnis:**

Wassersäule: 43 cm ( $K' = 4.5$ )

### Aufgabe 6-2 (Filterpresse)

Zur vollständigen Abtrennung eines Feststoffes aus einer Suspension ( $\eta_L = 1 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ ,  $\varphi_S = 0,15$ ,  $\rho_S/\rho_K \approx 2$ ) wird eine Filterpresse mit einer Filterfläche  $A_F = 7,3 \text{ m}^2$  eingesetzt. Der Filtratvolumenstrom  $V = 5.75 \text{ m}^3/\text{h}$  soll während des Filtrationsprozesses konstant bleiben. Die maximal mögliche Filtrationsdruckdifferenz beträgt  $\Delta p_{\text{max}} = 412 \text{ kPa}$ . Der spezifische Filterkuchenwiderstand besitzt einen Wert von  $r_K = 1,16 \cdot 10^{13} \text{ m}^{-2}$  und der Filtermittelwiderstand ist  $R_M = 3,06 \cdot 10^9 \text{ m}^{-1}$ .

- a) Berechnen Sie das Filtratvolumen, das bis zum Erreichen der maximalen Druckdifferenz durchgesetzt werden kann, und die Zeit, in der dieses Filtratvolumen anfällt!
- b) Ermitteln Sie die Druckdifferenz zu Beginn des Prozesses!

**Ergebnis:**

Filtratvolumen: 2.76 m<sup>3</sup>  
 Druckdifferenz: 670 Pa

### Aufgabe 6-3 (Filternutsche)

Eine Suspension ( $\eta_L = 1,3 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ ,  $\varphi_S = 0,03$ ) wird mit einer diskontinuierlich arbeitenden Filternutsche ( $A_F = 1 \text{ m}^2$ ) bei konstantem Druck  $\Delta p = 80 \text{ kPa}$  filtriert. Aus Versuchen mit der Handfilterplatte ( $A_{HF} = 0,01 \text{ m}^2$ ,  $\Delta p = 80 \text{ kPa}$ ) wurden folgende Daten ermittelt:

Zeit t in s	83,5	233	450	740
Filtratvolumen $V_F$ in l	5	10	15	20

Der Filterkuchen baut sich mit einer Porosität von  $\varepsilon_{FK} = 0,52$  auf. Berechnen Sie:

- den Filtermittelwiderstand und den spezifischen Filterkuchenwiderstand,
- die Dauer einer Arbeitsphase und den mittleren Filtratdurchsatz, wenn während einer Arbeitsphase 12 m<sup>3</sup> Filtrat anfallen,
- den Filtratdurchsatz zu Beginn und Ende des Prozesses sowie
- die Filterkuchenhöhe am Ende des Prozesses!

#### Ergebnis:

Filtermittelwiderstand: 6,2 nm<sup>-1</sup>  
 spezifischer FK-Widerstand: 0,25  $\mu\text{m}^{-2}$   
 Dauer einer Arbeitsphase: 5,7 h  
 Filtratdurchsatz: 36 m<sup>3</sup>/h bzw. 1 m<sup>3</sup>/h  
 Filterkuchenhöhe: 80 cm

### Aufgabe 6-4 (Vakuum-Trommelzellenfilter)

Benennen Sie die wesentlichen Unterschiede zwischen Vakuum- und Druckfiltration!

Im Zuge einer Rationalisierung soll die diskontinuierlich betriebene Filternutsche, wie sie in Aufgabe 6-3 zur Anwendung kam, durch einen kontinuierlich arbeitenden Vakuum-Trommelzellenfilter ersetzt werden. Zur Verfügung steht ein Apparat mit einer Trommeloberfläche von 0,33 m<sup>2</sup>, dessen Ansaugzone 90° beträgt und der mit dem gleichen Unterdruck wie die Filternutsche betrieben werden soll. Die Drehzahl lässt sich im Bereich 0...50 h<sup>-1</sup> regeln. Die für die Filternutsche ermittelten Filterwiderstände gelten auch für den Trommelfilter.

Bestimmen Sie die Drehzahl, mit welcher der Apparat betrieben werden muss, damit der mittlere Filtratdurchsatz der Filternutsche erreicht wird! Stellen Sie grafisch die Abhängigkeit der Filterkuchenhöhe von der Drehzahl dar!

**Ergebnis:** Drehzahl: 20 h<sup>-1</sup>

**Aufgabe 6-5 (Anschwemmfiltration)**

Beschreiben Sie das Prinzip einer Anschwemmfiltration!

Bei einer Anschwemmfiltration wird zur Voranschwemmung der Kieselgurtyp "Superaid" verwendet. Dem Katalog können folgende Werte entnommen werden:

- Feststoffdichte:  $\rho_S = 2250 \text{ kg/m}^3$
- Porosität der Schüttung:  $\varepsilon = 86 \%$
- volumenäquivalenter Durchmesser der Partikel:  $x_V = 1,25 \text{ }\mu\text{m}$
- Sphärizität der Partikel:  $\Psi = 0,8$

Pro  $\text{m}^2$  Filterfläche werden 600 g Kieselgur angeschwemmt.

- a) Berechnen Sie die volumenspezifische Oberfläche der Partikel!
- b) Welche Höhe besitzt die angeschwemmte Kieselgurschicht?
- c) Wie groß ist der Volumenstrom durch die Kieselgurschüttung, wenn eine Druckdifferenz von 0,5 bar am Filter ( $A_F = 2 \text{ m}^2$ ) anliegt? Die Viskosität der Flüssigkeit sei  $\eta_L = 0,001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  und der Kozeny-Koeffizient betrage 4,5.

**Ergebnis:**

volumenspezif. Oberfläche:	$6 \text{ m}^2/\text{cm}^3$
Höhe der Anschwemmschicht:	$1,9 \text{ mm}$
Filtratvolumenstrom:	$37,9 \text{ m}^3/\text{h}$

## 7 Rühren

### Aufgabe 7-1 (Mischen mit Blattrührer)

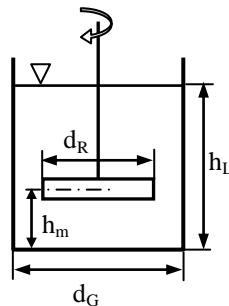
Welche Einsatzgebiete des Rührens können Sie sich denken (Nutzen Sie Ihre Fantasie – nicht das Lehrbuch!)?

Zur Mischung zweier ineinander löslicher Flüssigkeiten steht in einer Produktionsanlage ein Blattrührer ( $d_{BR} = 1,2 \text{ m}$ ) mit Stromstörern zur Verfügung. Das dazugehörige Rührgefäß ist zylindrisch und hat einen ebenen Boden. Das Einbautenvolumen ist zu vernachlässigen. Für den Rührerantrieb steht ein Getriebemotor mit folgenden Drehzahlen zur Verfügung: 15, 30, 45, 60, 80  $\text{min}^{-1}$ . Die Stoffwerte zur Mischflüssigkeit sind mit  $\rho_L = 972 \text{ kg/m}^3$  und  $\nu_L = 1,1317 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  gegeben.

- Prüfen Sie, ob der Blattrührer eingesetzt werden kann, wenn die volumenspezifische Rührerleistung im optimalen Bereich liegen soll!
- Wählen Sie einen Rührertyp so aus, dass die Abmessungen von Rührer und Gefäß gleich bleiben, und prüfen Sie, ob er unter der genannten Voraussetzung einsetzbar ist! Geben Sie die in diesem Fall erforderliche Drehzahl an!
- Bestimmen Sie die volumenspezifische Rührerleistung für die unter b) ermittelte Drehzahl!

#### Hinweis:

Zur Lösung der Aufgabe ist die Approximation  $c_R = A/\text{Re}_R^B$  nach BERNDT unter Nutzung der Beziehung  $h_L = 2 \cdot h_m$  zu verwenden.



#### **Ergebnis:**

- sollte nicht eingesetzt werden
- 4-Blatt-Rührer  $\rightarrow 30 \text{ min}^{-1}$
- volumenspezifische Rührerleistung:  $240 \text{ W/m}^3$