

Fachhochschule Südwestfalen/Abt. Hagen

FB Technische Betriebswirtschaft

Prof. Dr.-Ing. Klaus-Dieter Kothe

Grundlagen der Verfahrenstechnik

Klausur vom 19.7.2021

(max. 76,5 Punkte)

Die Klausur besteht aus 9 Fragen, 3 Aufgaben und 2 Anhängen.

Die Bearbeitungszeit beträgt 90 Minuten.

Die durchgeführten Rechenschritte müssen erkennbar sein. Ein Ergebnis ohne erkennbare Herleitung wird nicht anerkannt.

Frage 1: (3 Punkte)

Was zeichnet verfahrenstechnisch hergestellte Produkte aus?

Frage 2: (3 Punkte)

Die Bernoulli-Gleichung beschreibt die Strömung einer idealen Flüssigkeit in einem System. Welche physikalischen Überlegungen liegen dieser Gleichung zu Grunde?

Frage 3: (5 Punkte)

- a) Erklären Sie, welche Voraussetzungen vorliegen müssen, dass bei der Strömung einer Flüssigkeit in der Reihenschaltung Düse/Diffusor Kavitation auftritt.
- b) Durch welche Maßnahmen könnte man in dieser Schaltung die Kavitation verhindern?

Frage 4: (4 Punkte)

- a) Beschreiben Sie, durch welchen energetischen Vorgang in einer Kreiselpumpe die zur Förderung erforderliche Druckdifferenz erzeugt wird?
- b) Für welche Flüssigkeiten ist diese Pumpe nicht geeignet?

Frage 5: (4 Punkte)

- a) Warum ist eine Drosselregelung des Förderstroms bei Kreiselpumpen möglich, wohingegen sie bei Verdrängerpumpen nicht eingesetzt werden darf?
- b) Welche Förderstromregelungen bieten sich bei Verdrängerpumpen an?

Frage 6: (2 Punkte)

Welche Besonderheit muss man bei allen Mahlvorgängen beachten werden, um eine effiziente Mahlung zu gewährleisten?

Frage 7: (3 Punkte)

Nennen Sie die Vorteile eines RRSB-Körnungsnetzes.

Frage 8: (3 Punkte)

Welche Voraussetzungen muss ein Partikel erfüllen, damit es durch eine Sedimentation abgetrennt werden kann?

Frage 9: (3 Punkte)

Flockungshilfsmittel verbessern den Sedimentationsvorgang. Welche betriebswirtschaftlichen Folgen hat der Einsatz von Flockungshilfsmitteln? Begründen Sie Ihre Antwort!

Frage 1:

(3 Punkte)

Was zeichnet verfahrenstechnisch hergestellte Produkte aus?

verfahrenstechnisch hergestellte Produkte werden mittels Stoffumwandeltechniken hergestellt. (Chemisch, Physikalisch, Biologisch)

Frage 2:

(3 Punkte)

Die Bernoulli-Gleichung beschreibt die Strömung einer idealen Flüssigkeit in einem System. Welche physikalischen Überlegungen liegen dieser Gleichung zu Grunde?

Die Energie die in ein System hineingesetzt wird, muss auch wieder aus dem System austreten. (Energieerhaltungssatz)

Frage 3:

(5 Punkte)

- Erklären Sie, welche Voraussetzungen vorliegen müssen, dass bei der Strömung einer Flüssigkeit in der Reihenschaltung Düse/Diffusor Kavitation auftritt.
- Durch welche Maßnahmen könnte man in dieser Schaltung die Kavitation verhindern?

a) Der Druck welcher an der Düse abfällt, muss den Dampfdruck des jeweiligen Fluids unterschreiten.

b) Man könnte die Verjüngung der Düse im Durchmesser vergrößen so dass nicht so viel Druck abfällt, oder man schaltet eine Pumpe vor die Schaltung so dass der generelle Druck erhöht wird.

Frage 4:

(4 Punkte)

- a) Beschreiben Sie, durch welchen energetischen Vorgang in einer Kreiselpumpe die zur Förderung erforderliche Druckdifferenz erzeugt wird?
- b) Für welche Flüssigkeiten ist diese Pumpe nicht geeignet?

- a) Durch die Dynamische Wirkungsweise wird der Druckdifferenz erzeugt
- b) Dispersionen, Breie, hochviskose Flüssigkeiten

Frage 5:

(4 Punkte)

- a) Warum ist eine Drosselregelung des Förderstroms bei Kreiselpumpen möglich, wohingegen sie bei Verdrängerpumpen nicht eingesetzt werden darf?
- b) Welche Förderstromregelungen bieten sich bei Verdrängerpumpen an?

- a) Kreiselpumpen sind nicht selbstfördernd, weshalb eine Drosselregelung möglich ist. Verdrängerpumpen hingegen sind selbstfördernd, weshalb eine Drosselregelung sie zerstört werden
- b) Umgangsregelung (Bypass)

Frage 8:

(3 Punkte)

Welche Voraussetzungen muss ein Partikel erfüllen, damit es durch eine Sedimentation abgetrennt werden kann?

Partikel müssen größer als $0,5 \mu\text{m}$ sein und es muss ein Dichtedifferenz zwischen Partikel und Fluid herrschen.

Frage 9:

(3 Punkte)

Flockungshilfsmittel verbessern den Sedimentationsvorgang. Welche betriebswirtschaftlichen Folgen hat der Einsatz von Flockungshilfsmitteln? Begründen Sie Ihre Antwort!

Investitionskosten sinken, jedoch steigen die Betriebskosten.

Investitionskosten sinken, da kleineres Becken gebaut werden kann und Betriebskosten steigen, da Flockungsmittel gekauft werden muss.

Aufgabe 1:

(15 Punkte)

Aus einem Behälter strömt eine ideale Flüssigkeit durch eine geknickte Rohrleitung in einen Diffusor. Es herrscht sowohl an der Flüssigkeitsoberfläche im Behälter (1) als auch an der Austrittsöffnung (5) des Diffusors Atmosphärendruck. Auf Grund der Höhenunterschiede besteht die Gefahr, dass in einem Bereich im System Kavitation auftritt. Deshalb darf der Druck an keiner Stelle im System unter den kritischen Druck p_{krit} fallen.

Die Strömung ist reibungsfrei.

- a) Skizzieren Sie den Druckverlauf in der Flüssigkeit von der Flüssigkeitsoberfläche im Behälter bis zur Austrittsöffnung des Diffusors!

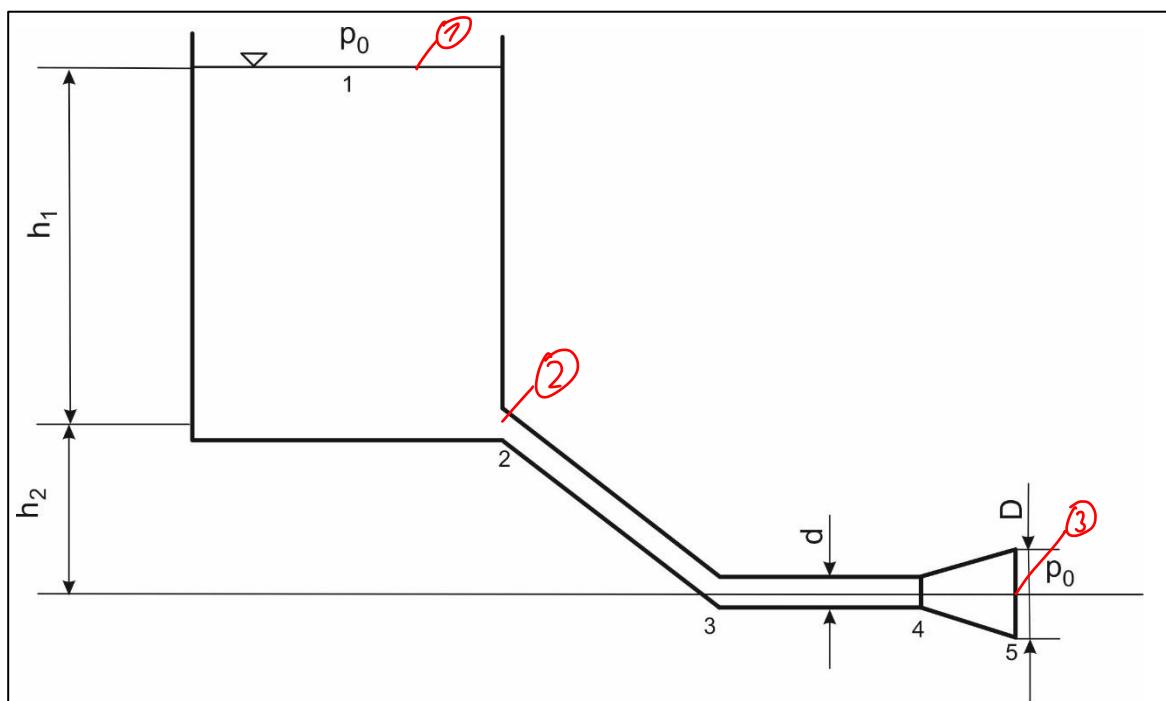
Wo besteht Kavitationsgefahr?

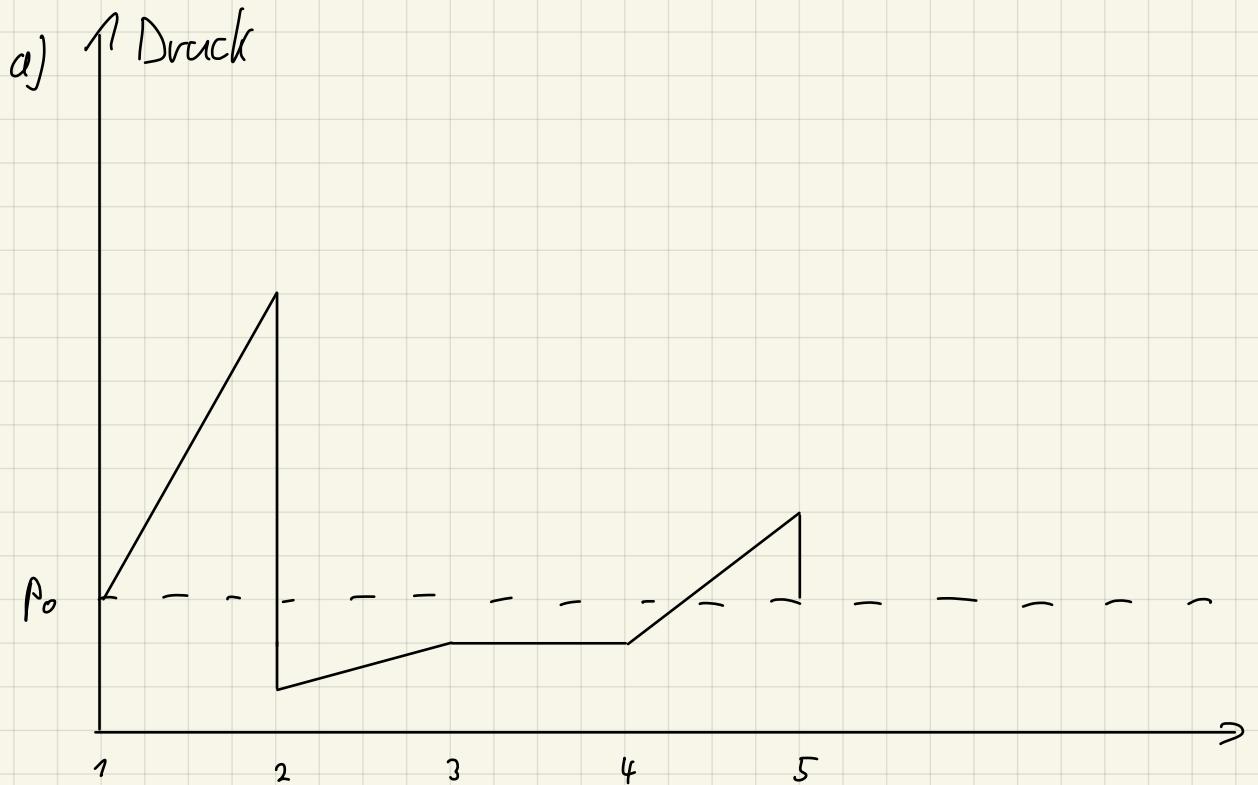
- b) Wie hoch muss der Flüssigkeitsspiegel im Behälter mindestens sein, damit keine Kavitation auftritt?

Gegeben:

$$\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3; \quad h_1 = 0,5 \text{ m}; \quad D = 0,3 \text{ m}; \quad d = 0,2 \text{ m}$$

$$P_0 = 10^5 \text{ Pa}; \quad p_{\text{krit}} = 1.000 \text{ Pa}$$





b)

$$p_1 = p_0$$

$$p_2 = 1000 \text{ Pa}$$

$$p_3 = p_0$$

$$z_1 = h_2 + h_1$$

$$z_2 = h_2$$

$$z_3 = 0$$

$$w_1 = 0$$

$$w_2 = ?$$

$$w_3 = ?$$

2 - 3

$$A_2 \cdot w_2 = A_3 \cdot w_3$$

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot z_1 + \frac{\rho}{2} \cdot w_1^2 = p_2 + \rho \cdot g \cdot z_2 + \frac{\rho}{2} \cdot w_2^2 = \text{konst.}$$

$$w_3 = \frac{A_2 \cdot w_2}{A_3}$$

$$\text{Krit} + g \cdot g \cdot z_2 + \frac{g}{2} \cdot w_2^2 = p_0 + \frac{g}{2} \cdot w_3^2$$

$$\text{Krit} + g \cdot g \cdot z_2 + \frac{g}{2} \cdot w_2^2 = p_0 + \frac{g}{2} \cdot \left(\frac{A_2}{A_3}\right)^2 \cdot w_2^2$$

$$\text{Krit} + g \cdot g \cdot z_2 - p_0 = \frac{g}{2} \cdot \left(\frac{A_2}{A_3}\right)^2 \cdot w_2^2 - \frac{g}{2} \cdot w_2^2$$

$$\text{Krit} + g \cdot g \cdot z_2 - p_0 = w_2^2 \cdot \frac{g}{2} \cdot \left(1 \cdot \left(\frac{A_2}{A_3}\right)^2 - 1\right)$$

$$\sqrt{\frac{\text{Krit} + g \cdot g \cdot z_2 - p_0}{\frac{g}{2} \cdot \left(1 \cdot \left(\frac{A_2}{A_3}\right)^2 - 1\right)}} = w_2$$

$$\omega_1 = 15,31 \frac{m}{s}$$

$$\omega_3 = \frac{A_2 \cdot \omega_2}{A_3}$$

$$\omega_3 = 6,81 \frac{m}{s}$$

1 - 3

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot z_1 + \frac{\rho}{2} \cdot w_1^2 = p_2 + \rho \cdot g \cdot z_2 + \frac{\rho}{2} \cdot w_2^2 = \text{konst.}$$

$$\cancel{p_0} + \cancel{s} \cdot g \cdot (h_2 + h_1) = \cancel{p_0} + \frac{\cancel{s}}{2} \cdot \omega_3^2$$

$$h_2 + h_1 = \frac{\frac{s}{2} \cdot \omega_3^2}{s \cdot g}$$

$$h_1 = \frac{\frac{s}{2} \cdot \omega_3^2}{s \cdot g} - h_2$$

$$h_1 = \underline{\underline{1,86 \text{ m}}}$$

oder man löst es so:

1 - 2

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot z_1 + \frac{\rho}{2} \cdot w_1^2 = p_2 + \rho \cdot g \cdot z_2 + \frac{\rho}{2} \cdot w_2^2 = \text{konst.}$$

$$p_0 + s \cdot g \cdot (h_2 + h_1) = p_{\text{krit}} + s \cdot g \cdot h_2 + \frac{s}{2} \cdot \omega_2^2$$

$$p_0 + \cancel{s \cdot g \cdot h_2} + s \cdot g \cdot h_1 = p_{\text{krit}} + \cancel{s \cdot g \cdot h_2} + \frac{s}{2} \cdot \omega_2^2$$

$$s \cdot g \cdot h_1 = p_{\text{krit}} - p_0 + \frac{s}{2} \cdot \omega_2^2$$

$$h_1 = \frac{p_{\text{krit}} - p_0 + \frac{s}{2} \cdot \omega_2^2}{s \cdot g}$$

$$h_1 = \underline{\underline{1,86 \text{ m}}}$$

Aufgabe 2:

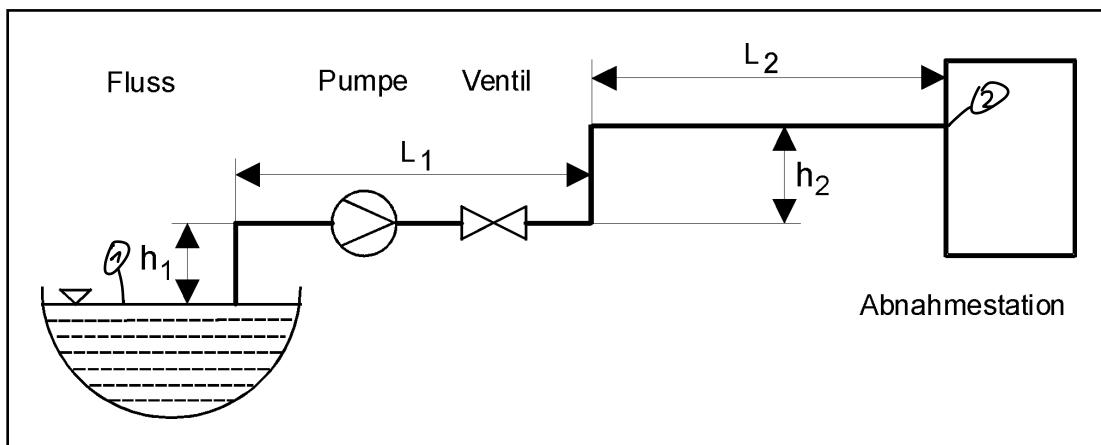
(16,5 Punkte)

Zur Versorgung eines Betriebes mit Kühlwasser soll einem Fluss mit Hilfe einer Kreiselpumpe stündlich 20 m^3 Wasser entnommen werden. Das Wasser muss die Höhen $h_1 = 2 \text{ m}$ und $h_2 = 5 \text{ m}$ überwinden. Die horizontalen Rohrleitungsstücke haben eine Länge von $L_1 = 240 \text{ m}$ und $L_2 = 400 \text{ m}$. Die Wasserleitung besteht aus geschweißten Stahlrohren mit einem Innendurchmesser von 100 mm. Aufgrund einer geplanten langjährigen Betriebszeit ist mit einem stark verkrusteten Zustand der Rohrleitung zu rechnen, so dass von einer Wandrauheit von 1 mm ausgegangen werden muss. In der Kühlwasserabnahmestation am Ende der Leitung wird ein Abnahmedruck von 3,5 bar gefordert. In der zu verlegenden Rohrleitung liegt ein gesamter Leitungswiderstand durch Einbauten von $\Sigma\zeta=1,5$ vor. Der Pumpenwirkungsgrad liegt bei 55%.

- Wie groß ist der durch die Einbauten und durch die Rohreibung verursachte Gesamtdruckverlust?
- Wie groß ist die von der Pumpe zu überwindende Druckdifferenz?
- Wie groß ist die Anlagenförderhöhe?
- Wie groß ist der elektrische Leistungsbedarf der Pumpenanlage?

Stoffwerte:

Dichte: $\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3$ Viskosität: $\eta = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ kg/(m s)}$



$$\text{geg: } \dot{V} = 20 \frac{m^3}{h} = 5,5 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

$$L = 640 \text{ m}$$

$$d = 100 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$k = 1 \cdot 10^{-3}$$

$$\zeta = 1,5$$

$$h = 0,55$$

$$\rho_F = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$J = 1,3 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

Wichtig! Absolutdruck

$$p_1 = p_0$$

$$p_2 = 4,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$z_1 = 0$$

$$z_2 = 7 \text{ m}$$

$$w_1 = 0$$

$$w_2 = \frac{\dot{V}}{A_2} = 0,71 \frac{m}{s}$$

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot z_1 + \frac{\rho}{2} \cdot w_1^2 = p_2 + \rho \cdot g \cdot z_2 + \frac{\rho}{2} \cdot w_2^2 + \Delta p_{V,G}$$

$$p_0 = 4,5 \cdot 10^5 \text{ Pa} + g \cdot g \cdot z_2 + \frac{\zeta}{2} w_2^2 + \Delta p_{V,G}$$

a)

$$\Delta p_{V,E} = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2$$

$$\Delta p_{V,E} = 3,72 \cdot 10^2 \text{ Pa}$$

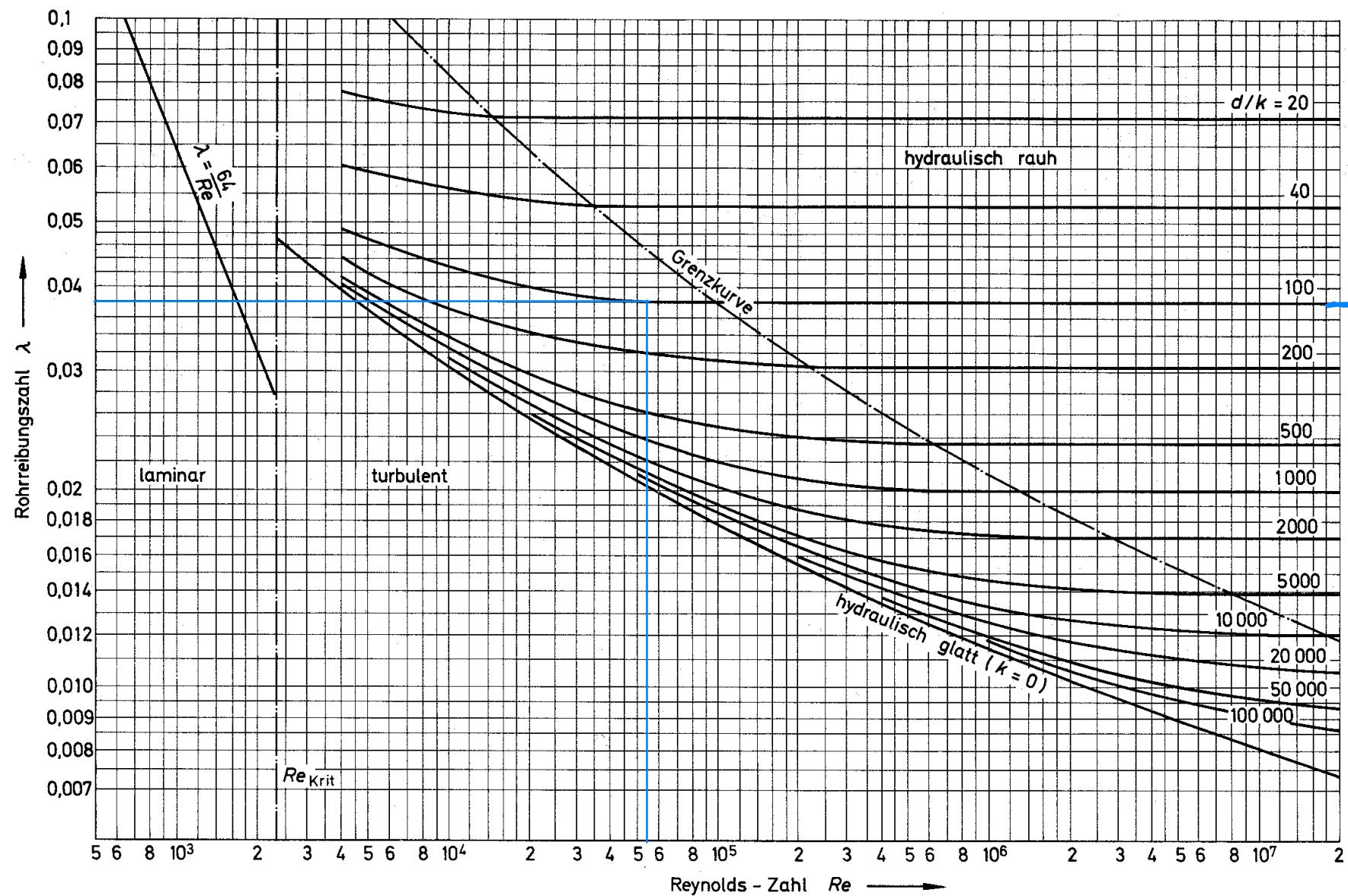
$$\Delta p_{V,R} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2$$

$$\Delta p_{V,R} = 6,13 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu}$$

$$\frac{d}{k} = 100$$

$$Re = 5,46 \cdot 10^4 \rightarrow \lambda = 0,038$$



$$\Delta p_{V,G} = \Delta p_{V,R} + \Delta p_{V,R}$$

$$\underline{\Delta p_{V,G} = 6,17 \cdot 10^4 \text{ Pa}}$$

c)

$$h_p = \frac{\Delta p_p}{\rho \cdot g}$$

$$h_p = 49,03 \text{ m}$$

b)

$$\Delta p_A = p_2 - p_1 + \rho \cdot g \cdot (z_2 - z_1) + \frac{\rho}{2} \cdot (w_2^2 - w_1^2) + \Delta p_{V,G}$$

$$\Delta p_A = 4,81 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

d)

$$P_{el} = \frac{1}{\eta_G} \cdot \dot{V} \cdot \Delta p_p \quad \Delta p_p = \Delta p_A$$

$$\underline{P_{el} = 4,86 \text{ kW}}$$

Aufgabe 3: (15 Punkte)

In einem vertikalen Rohr wird ein Partikelgemisch in kleinere und größere Partikel durch einen aufwärtsgerichteten Luftstrom getrennt. Die größeren Partikel setzen sich nach unten ab, wohingegen die kleineren Partikel nach oben mitgerissen werden. Das Rohr hat einen Durchmesser von 0,3 m.

Bei einer Siebanalyse wird festgestellt, dass das Partikelgemisch einen Korngrößenparameter d_p' von 0,12 mm und einen Gleichmäßigkeitssparameter n von 1,0 aufweist.

Wie groß muss der Luftstrom sein, wenn 60 % der Masse des Partikelgemisches nach unten fallen sollen?

Stoffwerte:

Luft: Dichte: $\rho_F = 1,09 \text{ kg/m}^3$ dyn. Viskosität: $\eta_F = 1,95 \cdot 10^{-5} \text{ kg/(m s)}$

Partikel: Dichte: $\rho_P = 2.600 \text{ kg/m}^3$

