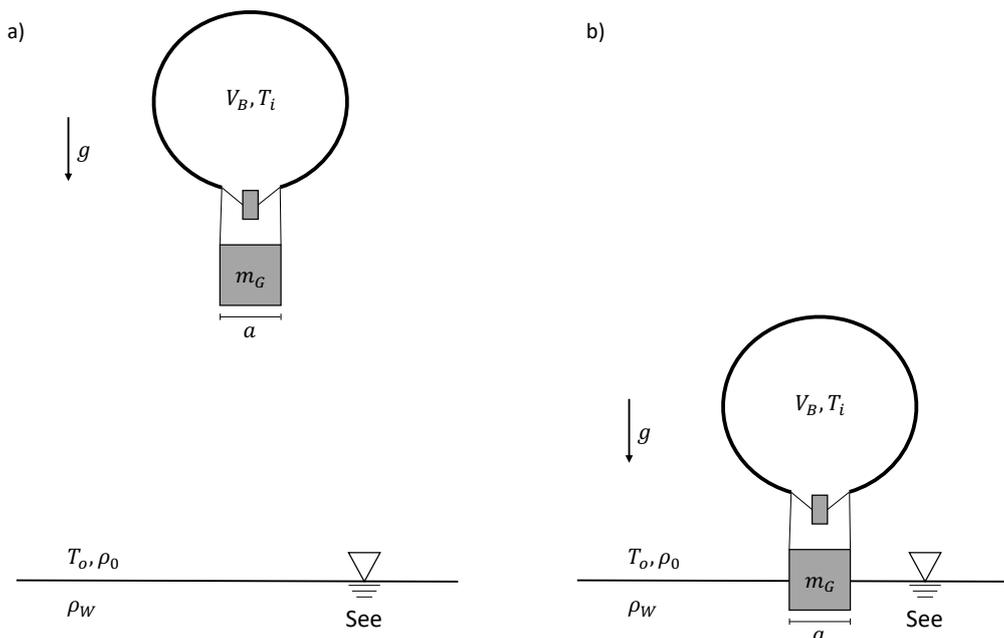


Klausur „Strömungsmechanik I“

05. 08. 2022

1. Aufgabe (7 Punkte)

Ein Heißluftballon fliegt über einen See. In der offenen, starren Ballonhülle wird die Luft mithilfe eines Brenners auf der konstanten Temperatur  $T_i$  gegenüber der isothermen Atmosphäre mit der Temperatur  $T_0$  gehalten. Die Gondel kann als Würfel mit der Kantenlänge  $a$  und einer Masse  $m_G$  angenommen werden. Das Gewicht des Brenners und der Ballonhülle kann vernachlässigt werden. An der Wasseroberfläche hat die Luft die Dichte  $\rho_0$ .



a) Berechnen Sie die Flughöhe  $H$  des Heißluftballons.

Der Brenner des Heißluftballons hat einen Defekt, sodass die Temperatur im Inneren der Hülle auf  $T_i^* < T_i$  abfällt. Der Ballon verliert an Höhe, sodass die Gondel in den See eintaucht.

b) Wie groß muss die Innentemperatur  $T_i^*$  mindestens sein, damit die Gondel nicht vollständig untergeht.

Gegeben:

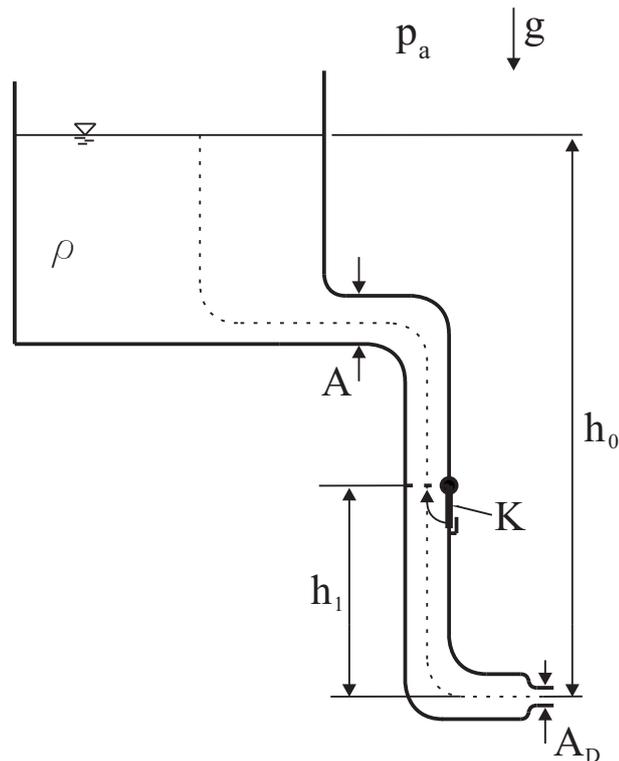
$$\rho_0, T_0, R, g, V_B, a, m_G, T_i, \rho_w$$

Hinweis:

- Luft kann als ideales Gas angenommen werden.
- Die vertikale Ausdehnung des Ballons ist zu vernachlässigen.
- Der Auftrieb der Gondel ist nicht zu vernachlässigen.
- Überprüfen Sie Ihre Ergebnisse hinsichtlich der Plausibilität von Einheit und Vorzeichen.

2. Aufgabe (10 Punkte)

Aus einem großen Behälter fließt Wasser (Dichte  $\rho$ ) durch ein Rohr (Querschnitt  $A$ ) mit anschließender Düse ins Freie. Die Düse ist durch einen veränderlichen Querschnitt  $A_D$  gekennzeichnet. Oberhalb der Düse (Abstand  $h_1$ ) befindet sich eine kleine, nach innen öffnende Klappe. Die Strömung ist verlustfrei.



- Bestimmen Sie den Düsenquerschnitt  $A_D$ , bei dem die Klappe gerade noch geschlossen ist.
- Bestimmen Sie für die Konfiguration aus a) den austretenden Volumenstrom  $\dot{V}$ .
- Zeichnen Sie sorgfältig den Verlauf des statischen Druckes entlang der gestrichelten Linie für  $A_D$  aus a) und für den Fall einer vollständig geschlossenen Düse ( $A_D = 0$ ).

Gegeben:

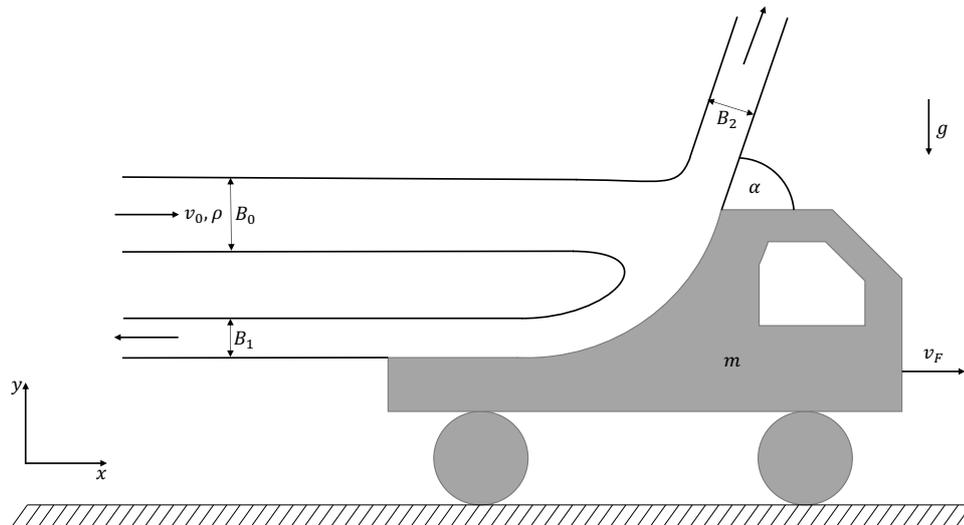
$$h_0, \quad h_1 = \frac{3}{4}h_0, \quad g, \quad A$$

Hinweis:

- Die Klappenhöhe sei vernachlässigbar.
- Überprüfen Sie Ihre Ergebnisse hinsichtlich der Plausibilität von Einheit und Vorzeichen.

### 3. Aufgabe (13 Punkte)

Ein Spielzeugauto der Masse  $m$  wird mithilfe eines horizontalen Wasserstrahls der Breite  $B_0$  und der Absolutgeschwindigkeit  $v_0$  angetrieben. Der Strahl wird in einen horizontalen Anteil (Breite  $B_1$ ) und einen diagonalen Anteil (Breite  $B_2$ ) zerteilt. Der diagonale Strahl verlässt das Fahrzeug unter dem konstanten Winkel  $\alpha$ . Das Verhältnis der austretenden Strahlen beträgt  $B_1/B_2 = \Gamma$ . Die Tiefe aller Strahlen beträgt  $T$ .



Das Fahrzeug bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit  $v_F$ . Bestimmen Sie in Abhängigkeit der Geschwindigkeit  $v_F$ :

- die gesamte Kraft  $F_{ab}$  in y-Richtung des Fahrzeugs auf den Boden.
- die Kraft  $F_{an}$  in x-Richtung, welche vom Fluid auf das Fahrzeug wirkt.

Das Fahrzeug erfährt eine Widerstandskraft durch Rollreibung, welche sich zu

$$F_W = C F_{ab}$$

berechnet.

- Bestimmen Sie die maximale Endgeschwindigkeit  $v_F$  des Fahrzeugs. Wie hoch ist die maximale Endgeschwindigkeit  $v_F^*$ , wenn die Masse des Fahrzeugs zu vernachlässigen ist?

Gegeben:

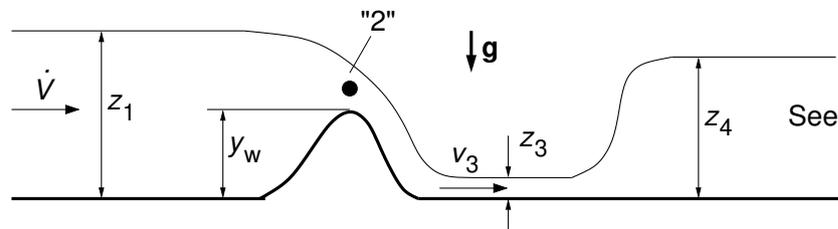
$$m, \quad v_0, \quad \alpha, \quad B_0, \quad B_1/B_2 = \Gamma, \quad T, \quad C, \quad \rho, \quad g$$

Hinweis:

- Die Gewichtskraft des Wassers kann vernachlässigt werden.
- Überprüfen Sie Ihre Ergebnisse hinsichtlich der Plausibilität von Einheit und Vorzeichen.

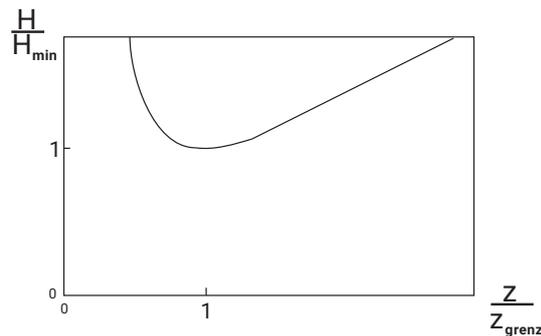
4. Aufgabe (7 Punkte)

In einem flachen Gerinne der Breite  $B$  strömt Wasser. Der Volumenstrom beträgt  $\dot{V}$ . Hinter einer Bodenwelle der Höhe  $y_w$  stellt sich ein schießender Zustand ein. Danach folgt ein Wassersprung bevor das Gerinne in einen See mit konstanter Spiegelhöhe mündet.



Die Spiegelhöhe des Gerinnes vor der Bodenwelle sei  $z_1$ , die Froude-Zahl dieses Zustandes sei  $Fr_1$ .

- a) Zeichnen Sie in das gegebene Diagramm alle hier auftretenden Zustandsänderungen qualitativ ein und kennzeichnen Sie die Zustände 1,2,3,4 in Anlehnung an die Skizze. Kennzeichnen Sie zudem die Gebiete überkritischer und unterkritischer Strömung an und geben Sie die e. Übertragen Sie das Diagramm dazu in Ihren Lösungsbogen.



- b) Berechnen Sie die Energiehöhe  $H_3$  und die Spiegelhöhe  $z_3$  sowie die Froude-Zahl  $Fr_3$  als Funktion von  $z_3$  und den gegebenen Größen.
- c) Wie groß wird  $z_4$ , wenn die Bodenwellenhöhe  $y_w$  so verringert wird, dass kein Übergang zum schießenden Zustand eintritt? Begründen Sie Ihre Antwort.

Gegeben:  $\dot{V}$ ,  $B$ ,  $z_1$ ,  $g$

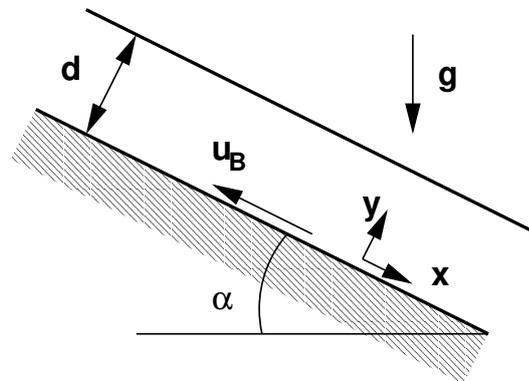
Hinweis:

- Überprüfen Sie Ihre Ergebnisse hinsichtlich der Plausibilität von Einheit und Vorzeichen.

5.Aufgabe (12 Punkte)

Ein Flüssigkeitsfilm aus einer strukturviskosen Polymerlösung läuft auf einem Förderband in positiver  $x$ -Richtung (siehe Skizze). Der Volumenstrom wird durch die Geschwindigkeit des Förderbandes reguliert.

- Leiten Sie die Geschwindigkeitsverteilung des Films als Funktion von  $y$  her. Nehmen Sie an, dass die Strömung ausgebildet ist.
- Bestimmen Sie  $u_B$  so, dass der Nettovolumenstrom pro Einheitstiefe des Flüssigkeitsfilms in  $x$ -Richtung Null wird.
- Skizzieren Sie sorgfältig die Schubspannungsverteilung und die Geschwindigkeitsverteilung für die unter b) berechnete Geschwindigkeit  $u_B$ .



Gegeben:  $g$ ,  $d$ ,  $\alpha$ ,  $K > 0$ ,  $\rho$

Hinweis:

- Die Schubspannung in der Polymerlösung ergibt sich aus

$$\tau = -K \frac{du}{dy} \left| \frac{du}{dy} \right|^{-\frac{1}{2}}$$

- Überprüfen Sie Ihre Ergebnisse hinsichtlich der Plausibilität von Einheit und Vorzeichen.

6. Aufgabe (11 Punkte)

- a) Mit Hilfe welcher dimensionslosen Kennzahl werden die Strömungszustände einer inkompressiblen, stationären Rohrströmung bestimmt und wie wird diese Kennzahl gebildet?
- b) Skizzieren Sie qualitativ die Schubspannung und das Verhältnis von laminarer zu turbulenter Schubspannung als Funktion des Radius einer turbulenten Rohrströmung.

Ein 2-dimensionales, reibungsfreies Strömungsfeld kann für die Zeit  $t > t_0$  durch die folgenden Geschwindigkeitskomponenten beschrieben werden:

$$\begin{aligned}u(y, t) &= U_0 e^{-At} \frac{y}{H} \\v(t) &= V_0 e^{-Bt}\end{aligned}$$

- c) Bestimmen Sie die Funktion  $x = f(y)$  jener Stromlinie, die zum Zeitpunkt  $t_1 = \frac{1}{A-B}$  durch den Ort  $(0, H)$  geht. Geben Sie hierfür als Erstes die Definition der Stromlinie für eine 2-dimensionale Strömung an.
- d) Bestimmen Sie die x-Komponente der Bahnkurve  $x(t)$  eines Fluidteilchens, das sich zum Zeitpunkt  $t_2 = 0$  am Ort  $(0, 0)$  befand.

Gegeben:

$$U_0, \quad H, \quad V_0, \quad A, \quad B$$

Hinweis:

- Alle Aufgaben können unabhängig voneinander bearbeitet werden.
- Überprüfen Sie Ihre Ergebnisse hinsichtlich der Plausibilität von Einheit und Vorzeichen.