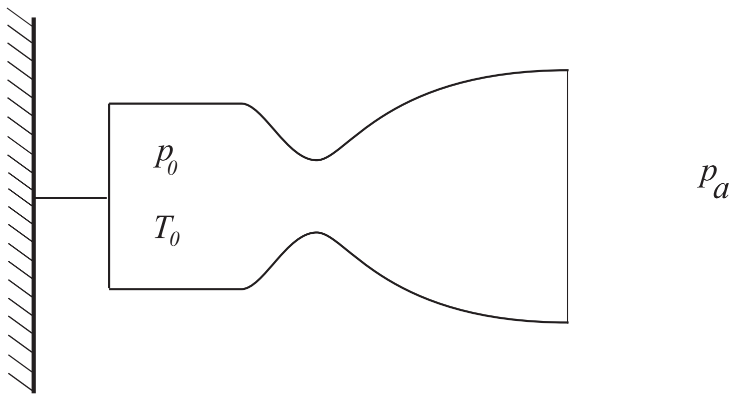
Tutorenprogramm - Strömungsmechanik II
Wintersemester 2012/2013
Kompressible Strömungen

1. Aufgabe



Eine konvergent-divergente Düse befindet sich in einem großen Prüfraum. Der Druck im Prüfraum ist p_a und kann näherungsweise als konstant angenommen werden.

1. Leiten Sie mit Hilfe der Energiegleichung die folgende Gleichung für das Verhältnis der Gesamt- und der statischen Temperatur her.
$$\frac{T_0}{T} = 1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2$$
2. Die Düse wurde für einen Außendruck von $p_a = 10^5$ N/m^2 ausgelegt, d.h. es findet eine vollständige Expansion statt. Der Kesseldruck beträgt p_0. Berechnen Sie für diesen Fall die Querschnittsfläche A des Düsenaustritts, wenn der gemessene Schub $F_s = 279kN$ beträgt.

Gegeben: $\gamma = 1.4, R = 287Nm/(kgK), p_0 = 7,82 \cdot 10^5 N/m^2, T_0 = 516,6K$

Hinweis:

Isentropenbeziehung:
$$\frac{p_0}{p} = \left(\frac{T_0}{T}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad \text{und} \quad \frac{\rho_0}{\rho} = \left(\frac{T_0}{T}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}}$$
spezifische Wärmekapazität:
$$c_p = \frac{\gamma R}{\gamma - 1}$$

Quelle: Frühjahr 2006

2. Aufgabe

1. Leiten Sie die kritische Machzahl $M^* = \frac{u}{a^*}$ als Funktion der lokalen Machzahl M in der folgenden Form her:
$$M^* = \left(\frac{(\gamma+1)M^2}{2+(\gamma-1)M^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$
2. Ermitteln Sie den Grenzwert von M^* für $M \to \infty$.
3. Ermitteln Sie die minimale Machzahl, die hinter einem senkrechten Verdichtungsstoß auftreten kann.

Gegeben:

$\gamma = 1.4$

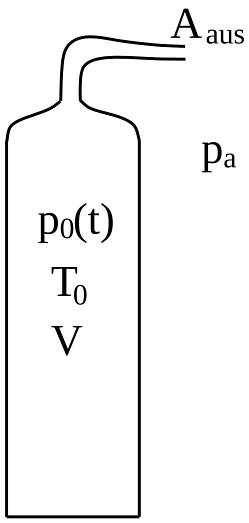
Hinweis:

- $c_p = \dfrac{\gamma R}{\gamma - 1}$
- Verhältnis der kritischen Machzahl über einen senkrechten Verdichtungsstoß:

  $M_1^* \cdot M_2^* = 1$

Quelle: Herbst 2012

3. Aufgabe



Eine Druckluftflasche (Volumen V) ist mit Luft (p_0, T_0, γ) gefüllt. Infolge eines Montagefehlers reißt der Manometerverschluss ab ($t_0 = 0$), so dass die Luft in die Umgebung ausströmt (Umgebungsdruck p_a).

1. Leiten Sie aus dem Energiesatz $h_0 = h + \frac{u^2}{2}$ eine Beziehung für das Temperaturverhältnis $\frac{T}{T_0}$ als Funktion der Mach Zahl M her. Bestimmen Sie ferner die Temperatur und die Geschwindigkeit der Strömung am Austritt.
2. Geben Sie den Massenstrom $\dot{m}(t)$ als Funktion des Ruhedruckes $p_0(t)$ in der Druckluftflasche für die Strömung an, bevor sie unterkritisch wird.
3. Welche Masse tritt aus der Flasche bis zu dem Zeitpunkt aus, an dem die Strömung unterkritisch wird?
4. Bestimmen Sie den zeitlichen Verlauf des Druckes $p_0(t)$ in der Flasche, bevor die Strömung unterkritisch wird.

Gegeben:

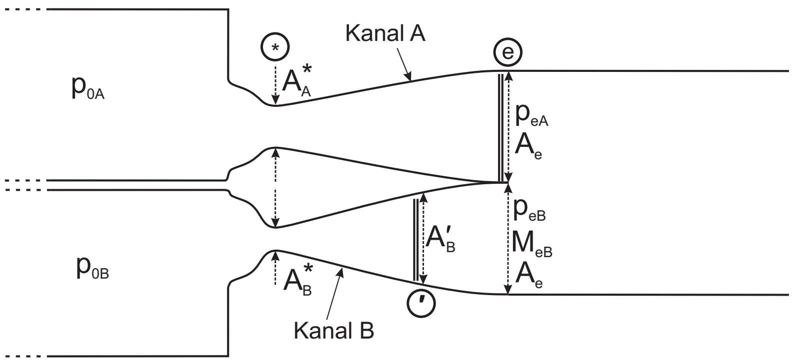
V, T_0, A_{aus}, p_0, $p_a = \frac{1}{5}p_0$, R, γ

Hinweis:

- Die Strömung ist isentrop.
- $c_p = \frac{\gamma R}{\gamma - 1}$
- Isentropenbeziehung: $\frac{T_0}{T} = \left(\frac{p_0}{p}\right)^{(\gamma-1)/\gamma} = \left(\frac{\rho_0}{\rho}\right)^{(\gamma-1)}$
- kritisches Druckverhältnis: $\frac{p^*}{p_0} = 0,528$
- Der engste Querschnitt liegt bei A_{aus} vor.

Quelle: Herbst 2010

4. Aufgabe



Um die Interaktion zweier Überschallströmungen zu untersuchen, werden zwei Überschallwindkanäle A und B wie in der Skizze gezeigt parallel betrieben. Ab dem Punkt e werden die zwei getrennten Kanäle zu einem Kanal vereinigt. Im Betrieb stellt sich durch einen Fehler in Kanal A im Querschnitt A_e direkt vor der Vereinigung der Kanäle sowie in Kanal B weiter stromauf im Querschnitt A'_B ein senkrechter Verdichtungsstoß ein.

1. Leiten Sie das Verhältnis $\frac{T_0}{T}$ in Abhängigkeit von der Machzahl her.
2. Berechnen Sie unter Berücksichtigung der gegebenen Größen und der Hinweise den statischen Druck p_{eA} im Querschnitt e hinter dem Stoß in Kanal A.
3. Was gilt für den statischen Druck p_{eB} im Querschnitt e in Kanal B, wenn sich die Strömung in diesem Querschnitt in beiden Kanälen im Unterschall befindet?
4. Bestimmen Sie den Kesseldruck p_{0B} im zu Kanal B gehörenden Druckbehälter.
5. Skizzieren Sie die Machzahlverläufe in beiden Kanälen bis zum Punkt e.

Gegeben:

γ, p_{0A}, A^*_A, A^*_B, $A_e = 2A^*_A$, $A'_B = 4A^*_B$, M_{eB}

Hinweise:

- Die Ergebnisse einer Teilaufgabe dürfen in den nachfolgenden Teilaufgaben als bekannt vorausgesetzt werden.
- Verhältnis der stat. Drücke über den Stoß:

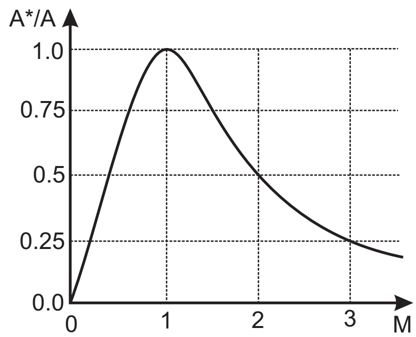
$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{2\gamma M_1^2 - (\gamma - 1)}{\gamma + 1}$$

- Verhältnis der Ruhedrücke über den Stoß:

$$\frac{p_{02}}{p_{01}} = \left(\frac{\frac{\gamma+1}{2}M_1^2}{1 + \frac{\gamma-1}{2}M_1^2}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \left(\frac{2\gamma M_1^2 - (\gamma - 1)}{\gamma + 1}\right)^{\frac{-1}{\gamma-1}}$$

- Isentropenbeziehung: $\dfrac{T_a}{T_b} = \left(\dfrac{p_a}{p_b}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \left(\dfrac{\rho_a}{\rho_b}\right)^{\gamma-1}$

- $A^*/A = f(M)$:



Quelle: Herbst 2011