

## Thermodynamik II Aufgabe 4.1s

Thema: *Strömungen kompressibler Medien*

Betrachten Sie eine eindimensionale, stationäre, adiabate und reibungsfreie Strömung eines idealen Gases mit Gaskonstante  $R$  und Verhältnis der spezifischen Wärmen  $\kappa$  in Kanälen mit veränderlichem Querschnitt. Vernachlässigen Sie dabei Änderungen der potentiellen Energie.

- a) Wie lauten Kontinuitäts-, Impuls- und Energiegleichung für diese Strömung?
- b) Leiten Sie aus der Definition der Schallgeschwindigkeit, eine algebraische Formel für die Schallgeschwindigkeit des idealen Gases ab!
- c) Leiten Sie das Verhältnis  $T_1/T_0$  von Ruhetemperatur (Index 0) zur Temperatur in der Strömung (Index 1) als Funktion der Machzahl ab!  
Welche der drei Bedingungen - adiabat, reibungsfrei, isentrop - müssen für die Gültigkeit dieser Beziehung vorausgesetzt werden? Begründung!
- d) Bestimmen Sie aus dem Temperaturverhältnis ebenso das Druckverhältnis  $p_1/p_0$  und das Dichteverhältnis  $\rho_1/\rho_0$  als Funktion der Machzahl  $Ma$  und  $\kappa$ !  
Welche Annahme ist gegenüber b) jetzt zusätzlich zu treffen?
- e) Bestimmen Sie die Verhältnisse von kritischem Druck  $p^*$ , kritischer Dichte  $\rho^*$  und kritischer Temperatur  $T^*$  bezogen auf den Ruhezustand! Wie groß sind diese Zahlenwerte für  $\kappa = 1,4$ ?
- f) Tragen Sie die Isobaren der Drücke des Ruhezustands (Index 0), eines Unterschall- (Index 1) und eines Überschallzustands (Index 2) sowie die Isobaren des kritischen Zustands (Index \*) in ein  $h, s$ -Diagramm ein!
- g) Ergänzen Sie das Diagramm durch die Zustandsänderungen für eine isentropen Strömung und tragen Sie die Enthalpien  $h_0, h_1, h^*$  und  $h_2$  ein!  
Wie können in diesem  $h, s$ -Diagramm die spezifischen kinetischen Energien der Zustände abgelesen werden (beispielhaft für  $c_1^2/2$  und  $c^{*2}/2$ )?
- h) Skizzieren Sie einen zu den Zustandsänderungen  $0 \rightarrow 1 \rightarrow * \rightarrow 2$  qualitativ passenden Konturverlauf der Kanalstrecke und tragen Sie die Position der Zustandspunkte  $0, 1, *, 2$  darin ein!

Betrachten Sie eine durch Reibung an den Kanalwänden verursachte nichtisentrope Zustandsänderung, bei der bis zum Erreichen der Position 2 ein relativer Ruhedruckverlust von  $\Delta p_0/p_0$  eingetreten ist!

- i) Welcher Zusammenhang besteht zwischen dem Ruhedruckverlust und der spezifischen Entropieänderung in der Strömung?
- j) Welche spezifische Entropieproduktion und welcher auf die Umgebungstemperatur  $T_u$  bezogene, spezifische Exergieverlust entsteht bei der Zustandsänderung?
- k) Tragen Sie den kritischen Zustand ( $Ma = 1$ , Index  $\tilde{*}$ ), die Enthalpie  $\tilde{h}^*$  und die zugehörige Isobare  $p^{\tilde{*}}$  qualitativ in das  $h, s$ -Diagramm ein!
- l) Tragen Sie die nichtisentrope Zustandsänderung  $0 \rightarrow \tilde{1} \rightarrow \tilde{*} \rightarrow \tilde{2}$  bis zum Zustand  $\tilde{2}$  an der Position 2 der Kanalstrecke ins  $h, s$ -Diagramm ein!