Ü 56

a) Nach Gl. **(3-5)** mit $k_M = 1$, also $T_{th} = T_{th\infty}$ und $r_1 = r_2 = r$ (Axialmaschine)

$T_{th} = \dot{m}\cdot r\cdot(c_{2u} - c_{1u})$ Hieraus

$F_{u,th} = T_{th}/r = \dot{m}\cdot(c_{2u} - c_{1u})$

Zum Auswerten muß der Geschwindigkeitsplan der Gleichdruckbeschaufelung aufgezeichnet werden. Hierzu müssen neben Umfangsgeschwindigkeit u, Düsenwinkel α_5 und Druckkanten-Zuströmgeschwindigkeit c_2 (identisch Düsenaustrittsgeschwindigkeit) bekannt sein. Entsprechend den Richtwerten (Unterabschnitt 6.2.5.3) werden hierzu folgende Festlegungen getroffen:

Zuströmwinkel $\alpha_2 = 14^\circ$ (Düsenwinkel α_5)

Schaufel gleichwinklig $\beta_2^* = \beta_1$

Laufzahl $Lz = u/c_2 = 0{,}42$ Hiermit

$c_2 = u/Lz = 250/0{,}42\ [m/s] = 595{,}24\ m/s$

$c_{2u} = c_2\cdot\cos\alpha_2 = 595{,}24\cdot\cos 14^\circ = 577{,}56\ m/s$

$w_{2u} = c_{2u} - u_2 = 577{,}56 - 250\ [m/s] = 327{,}56\ m/s$

$c_{2m} = w_{2m} = c_2\cdot\sin\alpha_2 = 595{,}25\cdot\sin 14^\circ = 144{,}0\ m/s$

$w_2 = \sqrt{w_{2m}^2 + w_{2u}^2} = \sqrt{144^2 + 327{,}56^2} = 357{,}8\ m/s$

$\tan\beta_2^* = w_{2m}/w_{2u} = 144/327{,}56 = 0{,}4396$

$\beta_2^* = 23{,}7^\circ = \beta_1$

$\Delta\beta = 180^\circ - (\beta_2^* + \beta_1) = 180 - 2\cdot 23{,}7 = 132{,}6^\circ$

Dazu $\varphi_{La} \approx 0{,}83$ und damit

$w_1 = \varphi_{La}\cdot w_2 = 0{,}83\cdot 357{,}8\ [m/s] = 296{,}97\ m/s$

$w_{1u} = w_1\cdot\cos\beta_1 = 296{,}97\cdot\cos 23{,}7^\circ = 271{,}93\ m/s$

$c_{1u} = w_{1u} - u = 271{,}93 - 250\ [m/s] = 21{,}93\ m/s$

$c_{1m} = w_{1m} = w_1\sin\beta_1 = 296{,}97\cdot\sin 23{,}7^\circ = 119{,}37\ m/s$

$\tan\alpha_1^* = c_{1m}/c_{1u} = 119{,}37/21{,}93 = 5{,}44 \longrightarrow \alpha_1^* = 79{,}6^\circ$

$c_1 = \sqrt{c_{1m}^2 + c_{1u}^2} = \sqrt{119{,}37^2 + 21{,}93^2} = 121{,}37\ m/s$

Kontrollrechnung: Laut Gl. **(2-23)**

$c_{1u} + c_{2u} = w_{1u} + w_{2u}$ ausgewertet

$c_{1u} + c_{2u} = 577{,}56 + 21{,}93 = 599{,}49\ m/s$

$w_{1u} + w_{2u} = 327{,}56 + 271{,}93 = 599{,}49\ m/s$

In Bild **1** ist der zugehörige Geschwindigkeitsplan dargestellt.

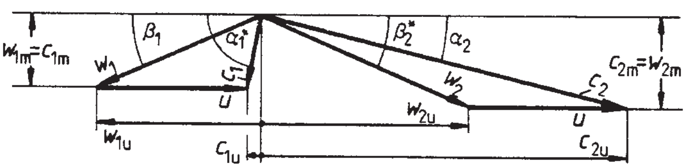

Bild 1. Lösungsskizze 1 zu Ü 56 . Geschwindigkeitsplan (maßstäblich).

Mit den Winkeln lassen sich die Schaufelprofile (Le und La) gemäß den Angaben der Unterabschnitte 2.5.3.2 und 6.2.5.3 sowie 7.3.3.2 entwerfen.

Weil c_{1u} entgegen u gerichtet ist, muß c_{1u} in die Beziehung für $F_{u,th}$ negativ eingesetzt werden. Da zudem die Laufschaufelverluste durch Beschauflungsbeiwert φ_{Le} berücksichtigt sind, entfällt Index th. Die Umfangskraft wird:

$F_u = \dot{m}\cdot(c_{2u} + |c_{1u}|) = 5\cdot(577{,}56 + 21{,}93)\ [kg/s\cdot m/s]$

$\underline{F_u = 2997{,}5\ N}$

b) $P_u = F_u\cdot u = 2997{,}5\cdot 250\ [N\cdot m/s]$

$\underline{P_u = 749375\ W = 749{,}38\ kW}$

c) Theoretisches Stufengefälle bei geschätztem Düsenbeiwert $\varphi_{Le} = 0{,}95$:

$c_{5,s} = c_{2,s} = c_2/\varphi_{Le} = 595{,}24/0{,}95 = 626{,}57\ m/s$

$\Delta h_s = c_{5,s}^2/2 = 626{,}57^2/2\ [m^2/s^2] = 196294\ m^2/s^2$

$\underline{\Delta h_s} = 196294\ [(m^2/s^2)\cdot kg/kg] = \underline{196294\ J/kg}$

Tatsächliches Stufengefälle (Umfangsgefälle):

$\Delta h_{Sch} = \Delta h_u = P_u/\dot{m} = 7493{,}75/5\ [(J/s)/(kg/s)]$

$\underline{\Delta h_{Sch}} = \Delta h_u = 149875\ J/kg \approx \underline{150\ kJ/kg}$

d) c_6 vernachlässigt, da klein gegenüber den anderen Geschwindigkeiten. Hierzu nach Gl. **(7-150)**:

$\Delta h_{V,Le} \approx \Delta h_s\cdot(1 - \varphi_{Le}^2) = 196{,}3\cdot(1 - 0{,}95^2)\ [kJ/kg]$

$\underline{\Delta h_{V,Le} \approx 19{,}14\ kJ/kg}$

$\Delta h_{V,La} = w_2^2/2 - w_1^2/2$ (Unterabschnitt 8.3.2.1)

$\Delta h_{V,La} = (1 - \varphi_{La}^2)\cdot w_2^2/2$

$\Delta h_{V,La} = (1 - 0{,}83^2)\cdot 357{,}8^2/2\ [m^2/s^2]$

$\underline{\Delta h_{V,La}} = 19913{,}6\ m^2/s^2 = \underline{19{,}91\ kJ/kg}$

$\Delta h_{V,As} = c_1^2/2$ nach Gl. **(8-23)**

$\Delta h_{V,As} = 121{,}37^2/2\ [m^2/s^2] = 7365{,}34\ m^2/s^2$

$\underline{\Delta h_{V,As} \approx 7{,}37\ kJ/kg}$

$\Delta h_{V,Sch} = \Delta h_{V,Le} + \Delta h_{V,La} + \Delta h_{V,As}$

$\underline{\Delta h_{V,Sch}} = 19{,}14 + 19{,}91 + 7{,}37 = \underline{46{,}42\ kJ/kg}$

Gegenrechnung:

$\Delta h_{V,Sch} = \Delta h_s - \Delta h_{Sch} = 196{,}3 - 149{,}9\ [kJ/kg]$

$\Delta h_{V,Sch} = 46{,}4\ kJ/kg$ (wie zuvor!)

e) Schauflungswirkungsgrad (Umfangswirkungsgrad):

Ohne Rückgewinn der Abströmgeschwindigkeit:

$\underline{\eta_{Sch}} = \Delta h_{Sch}/\Delta h_s = 149875/196294 = \underline{0{,}76}$

Bei Berücksichtigen der Ausströmgeschwindigkeit:

$\Delta h_s' = c_{5,s}^2/2 - c_1^2/2 = 626{,}57^2/2 - 121{,}37^2/2\ [m^2/s^2]$

$\Delta h_s' = 188929\ J/kg \approx 189\ kJ/kg$

$\underline{\eta_{Sch}'} = \Delta h_{Sch}/\Delta h_s' = 150/189 = \underline{0{,}79}$

f) Ausströmzustand aus (h,s)-Diagramm: Dargestellt in Bild **2**. Vom Zuströmzustand (Punkt 7), Druck 30 bar, Temperatur 480 °C wird das isentrope Enthalpiegefälle Δh_s = 196,3 kJ/kg lotrecht abgetragen: Ergibt Abströmdruck 16 bar (Punkt 5_s). Wieder von Punkt 7 ausgehend wird jetzt Δh_{Sch} = = 150 kJ/kg zum Druck 16 bar abgetragen, ergibt Punkt 1.

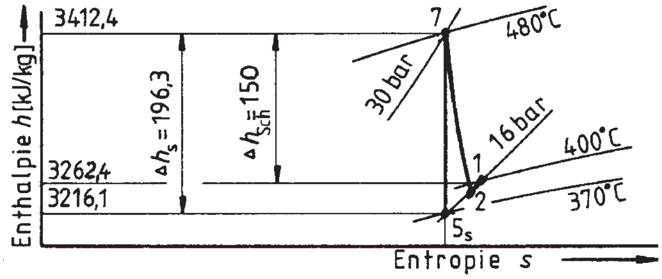

Bild **2**. Lösungsskizze 2 zu Ü 56. Ausschnitt aus (h,s)-Diagramm mit Entspannungsverlauf.