Ü 51

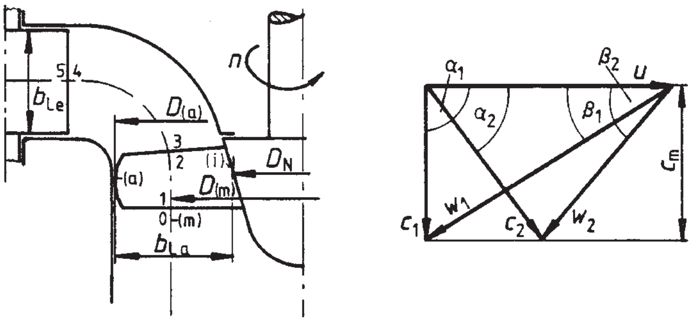

Bild 1. Lösungsskizze zu Ü 51. Meridianschnitt von Leit- und Laufrad (Hydraulik) sowie Geschwindigkeitsplan (Ge-Δ von Laufrad-Saug- und -Druckkante).

a) $c_4 = \varphi_{Le} \cdot \sqrt{2 \cdot Y_T \cdot (1 - r)}$ (Gl. **7-127**) Mit

$Y_T = g \cdot H \cdot \eta_{RL}$ wobei $\eta_{RL} \approx 1$ da Flußstaustufe und daher nur kurzes Einströmbauwerk.

$Y_T = 9{,}81 \cdot 4{,}5\ [m^2/s^2] = 44{,}15\ m^2/s^2$ sowie

aus Gl. **(8-137)** mit $\eta_{Sch,Le} = 1 - 2{,}5/100 = 0{,}975$

$\varphi_{Le} = \sqrt{\eta_{Sch,Le}} = \sqrt{0{,}975} = 0{,}987$ wird

$\underline{c_4} = 0{,}987 \cdot \sqrt{2 \cdot 44{,}15 \cdot (1 - 0{,}65)}\ \left[\sqrt{m^2/s^2}\right] = \underline{5{,}5\ m/s}$

Im Bogen zwischen Leit- und Laufrad (Stelle 4 nach 3) - Querschnitt gleichbleibend ausgeführt - nur Umlenkung (etwa reibungsfrei angen). Daher $c_3 = c_4$. Desweiteren wird die unbedeutende Schaufelverengung vernachlässigt. Auch gilt wegen $k_M = 1$ (Unterabschnitt 3.2.1.2) $c_2 = c_3$, *da auch* $\tau_2 \approx 1$.

$u = D_{(m)} \cdot \pi \cdot n$

$D_{(m)} \equiv D = (D_{(a)} + D_N)/2 = (1{,}48 + 0{,}62)/2\ [m]$
$= 1{,}05\ m$

$n = f/p = 50/17\ [1/s] = 2{,}94\ s^{-1}$

$u = 1{,}05 \cdot \pi \cdot 2{,}94\ [m/s] = 9{,}70\ m/s$

Bei b_{La} = konst ausgeführt, wird auch c_m = konst und für $\alpha_1 = 90^\circ$ (drallfreie Abströmung $\longrightarrow \delta_r = 1$):

$\underline{c_1 = c_{1m} = c_{2m} = w_{2m}}$

Für den spez. Abströmverlust (aus Saugrohr) gilt nach Gl. **(8-23)** $Z_{As} = c_{As}^2/2$. Bei Z_{As} 3 % von Y_T ist $Z_{As} = 0{,}03 \cdot Y_T$.

Aus dem Saugrohrwirkungsgrad

$\eta_{SR} = (Y_{La,As} - Z_{As})/Y_{La,As} = 1 - Z_{As}/Y_{La,As}$

mit der spez. Laufrad-Abströmenergie

$Y_{La,As} = c_1^2/2$ und lt. Aufgabe $\eta_{SR} = 100 - 22 = 78$ %:

$(1 - \eta_{SR}) \cdot Y_{La,As} = Z_{As}$

$(1 - \eta_{SR}) \cdot c_1^2/2 = 0{,}03 \cdot Y_T$ Hieraus

$c_1 = \sqrt{2 \cdot 0{,}03 \cdot Y_T/(1 - \eta_{SR})}$

$c_1 = \sqrt{2 \cdot 0{,}03 \cdot 44{,}15/(1 - 0{,}78)}\ \left[\sqrt{m^2/s^2}\right]$

$\underline{c_1 = 3{,}47\ m/s} = c_{1m} = w_{1m}$ da $\alpha_1 = 90^\circ$

$\tan\beta_1 = c_1/u = 3{,}47/9{,}7 = 0{,}3577 \longrightarrow \underline{\beta_1 = 19{,}7^\circ}$

$\underline{w_1} = c_1/\sin\beta_1 = 3{,}47/\sin 19{,}7^\circ\ [m/s] = \underline{10{,}29\ m/s}$

Damit liegen die Werte des Saugkanten-Geschwindigkeitsdreieckes (Bild **16-29**) *fest*

Druckkanten-Geschwindigkeitsplan:

$\sin\alpha_2 = c_{2m}/c_2 = 3{,}47/5{,}49 = 0{,}6321 \longrightarrow \underline{\alpha_2 = 39{,}2^\circ}$

$\underline{c_{2u}} = c_2 \cos\alpha_2 = 5{,}49 \cdot \cos 39{,}2^\circ\ [m/s] = \underline{7{,}08\ m/s}$

$\underline{w_{2u}} = u - c_{2u} = 9{,}7 - 7{,}08\ [m/s] = \underline{2{,}62\ m/s}$

$\tan\beta_2 = w_{2m}/w_{2u} = 3{,}47/2{,}62 = 1{,}3244 \longrightarrow \underline{\beta_2 = 52{,}9^\circ}$

$\underline{w_2} = w_{2u}/\cos\beta_2 = 2{,}62/\cos 52{,}9^\circ\ [m/s] = \underline{4{,}35\ m/s}$

b) $r \approx 1 - c_{3u}/(2u)$ (Gl. **4-43**) mit $c_{3u} \approx c_{2u}$

$r \approx 1 - 7.08/(2 \cdot 9{,}7) = 0{,}64$ (lt. Aufg. r=0,65)

c) $\eta_e = 1 - Z_{ges}/Y_T$ Mit

$Z_{ges} = \Sigma Z = Z_m + Z_{Sch,Le} + Z_{Sch,La} + Z_{Sp} + Z_R + Z_{SR} + Z_{As}$

Alle Verluste, außer die des Saugrohres Z_{SR} und der Spalte Z_{Sp} sind auf die spez. Turbinenenergie Y_T bezogen. Die Saugrohrverluste beziehen sich auf den Energieumsatz im Saugrohr, die Spaltverluste auf die spez. Schaufelarbeit. Sie müssen deshalb auf Y_T umgerechnet werden:

$Z_{SR} = (1 - \eta_{SR}) \cdot (Y_{La,As} - Z_{As}) = (1 - \eta_{SR}) \cdot (c_1^2/2 - 0{,}03 \cdot Y_T)$

$Z_{SR} = (1 - 0{,}78) \cdot (3{,}47^2/2 - 0{,}03 \cdot 44{,}15)\ [m^2/s^2]$

$Z_{SR} = 1{,}033\ m^2/s^2 = (1{,}033/Y_T) \cdot Y_T$

$\underline{Z_{SR}} = (1{,}033/44{,}15) \cdot Y_T = \underline{0{,}023 \cdot Y_T}$

$Z_{Sp} \approx Y_{Sch} \cdot \dot{m}_{Sp}/\dot{m}$ (Gl. **8-43**) Mit

$Y_{Sch} \approx Y_T \cdot \eta_{Sch}$

$\eta_{Sch} = 1 - Z_{Sch}/Y_T = 1 - (Z_{Sch,Le} + Z_{Sch,La})/Y_T$

$\eta_{Sch} = 1 - (Z_{Sch,Le}/Y_T) + Z_{Sch,La}/Y_T)$

$\eta_{Sch} = 1 - (0{,}025 + 0{,}025) = 0{,}95$

$\underline{Z_{Sp}} = 0{,}95 \cdot Y_T \cdot 0{,}04 = \underline{0{,}038 \cdot Y_T}$

Desweiteren mit $Z_m = 0{,}015 \cdot Y_T$, $Z_{Sch,Le} = 0{,}025 \cdot Y_T$

$Z_{Sch,La} = 0{,}025 \cdot Y_T$, $Z_R = 0{,}01 \cdot Y_T$, $Z_{As} = 0{,}03 \cdot Y_T$

ergibt sich:

$Z_{ges} = (0{,}015 + 0{,}025 + 0{,}025 + 0{,}038 + 0{,}01 + 0{,}023 + 0{,}03) \cdot Y_T$

$Z_{ges}/Y_T = 0{,}166$

$\underline{\eta_e} = 1 - 0{,}166 = 0{,}834 \approx \underline{0{,}83}$

d) $\dot{V}_{La} = c_m \cdot A_m = c_m \cdot (D_a^2 \cdot \pi/4 - D_N^2 \cdot \pi/4)$

$\dot{V}_{La} = 3{,}47 \cdot (1{,}48^2 - 0{,}62^2) \cdot \pi/4\ [(m/s) \cdot m^2]$

$\dot{V}_{La} = 4{,}922\ m^3/s$

$\dot{V} = \dot{V}_{La}/\lambda_L$

mit $\lambda_L = 1 - \dot{m}_{Sp}/\dot{m} = 1 - 0{,}04 = 0{,}96$
$\dot{V} = 4{,}922/0{,}96\ [m^3/s] = 5{,}127\ m^3/s$

e) $P_e = \dot{m} \cdot Y_T \cdot \eta_e = \varrho \cdot \dot{V} \cdot Y_T \cdot \eta_e$
$P_e = 10^3 \cdot 5{,}127 \cdot 44{,}15 \cdot 0{,}83 \quad [(kg/m^3) \cdot (m^3/s) \cdot (m^2/s^2)]$
$\underline{P_e} = 188 \cdot 10^3\ W = \underline{188\ kW}$

f) $n_y = n \cdot V^{1/2} \cdot Y_T^{-3/4}$
$n_y = 2{,}941 \cdot 5{,}127^{1/2} \cdot 44{,}15^{-3/4}$
$\underline{n_y = 0{,}39}$ Nach Tab. 11-1 an der unteren Grenze des n_y-Bereiches von KAPLAN-Turbinen.

Ergänzung: Gegenrechnung der Meridiangeschwindigkeit c_m mit Hilfe des Abströmwertes (Unterabschnitt 4.3.4.9).

$c_{0m} = \varepsilon \cdot \sqrt{2 \cdot Y_T}$ aus Gl.(4-93) mit nach Gl.(4-99)

$\varepsilon = 1{,}64 \cdot (\delta_{r,(a)} \cdot \tan\beta_{0,(a)} \cdot \sqrt{\lambda_L/k_N} \cdot n_y)^{2/3}$ Mit

$k_N = 1 - (D_N/D_a)^2 = 1 - (0{,}62/1{,}48)^2 = 0{,}825$

$\delta_r = \delta_{r,(a)} = 1$ (drallfreie Abströmung)

$\tan\beta_{0,(a)} \approx \tan\beta_{1,(a)} = c_{1m}/u_{(a)}$ wobei

$u_{(a)} = D_a \cdot \pi \cdot n = 1{,}48 \cdot \pi \cdot 2{,}941\ [m/s] = 13{,}67\ m/s$

$\tan\beta_{1,(a)} = 3{,}47/13{,}67 = 0{,}2538 \rightarrow \beta_{1,(a)} = 14{,}2^\circ$

(günstiger Wert lt. Abschnitt 5.2.3)

$\varepsilon = 1{,}64 \cdot (1 \cdot 0{,}2538 \cdot \sqrt{0{,}96/0{,}825} \cdot 0{,}39)^{2/3}$

$\varepsilon = 0{,}37 \rightarrow \varepsilon^2 = 0{,}137 \mathrel{\hat{=}} 13{,}7\ \%$

Es müssen somit 13,7 % der verfügbaren spez. Anlagenenergie im Saugrohr umgesetzt werden.

$c_{0m} = 0{,}37 \cdot \sqrt{2 \cdot 44{,}15}\ [\sqrt{m^2/s^2}] = 3{,}48\ m/s$

Stimmt mit dem in Frage a) ermittelten Wert ($c_1 = 3{,}47\ m/s = c_{1m} = c_{0m}$) gut überein.