

a) Radform: Nach Gl. (4-75) mit  $\Delta Y = Y$ , da  $i = 1$ :

$$n_y = n \cdot \dot{V}^{1/2} \cdot \Delta Y^{-3/4} \quad \text{wobei}$$

$$\Delta Y = g \cdot H = 9,81 \cdot 27 \text{ [m/s}^2 \cdot \text{m]} = 264,9 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$n = 1440/60 \text{ [min}^{-1}/(\text{s/min})] = 24 \text{ s}^{-1}$$

$$\dot{V} = 400 \text{ m}^3/\text{h} = 400/3600 = 0,111 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$n_y = 24 \cdot 0,111^{1/2} \cdot 264,9^{-3/4} = 0,122$$

Nach Tab. 4-1 Grenzfall: Radform I oder II

b) Spirale: Nach Gl. (7-86)  $g_{\text{ges}} = g + \Delta g$  mit

$$\text{Gl. (7-83)} \quad g = \varphi^2/C + \sqrt{2 \cdot r_i \cdot \varphi^2/C}$$

wobei  $\varphi$  von 0 bis  $370^\circ$  läuft

$$\text{Gl. (7-85)} \quad \Delta g = 0,025 \cdot r_i \cdot \varphi^2/360$$

$$\text{Gl. (7-78)} \quad C = 720 \cdot \pi \cdot K_{D,\text{Spir}} / \dot{V}_{La} \quad \text{oder}$$

$$\text{Gl. (7-79)} \quad C = 360 / (b_2 \cdot \tan \alpha_3)$$

$$\text{Gl. (7-78)} \quad K_{D,\text{Spir}} = K_{D,3} = r_2 \cdot c_{3u}$$

$$\text{Gl. (7-60)} \quad r_i \approx 1,04 \cdot r_2 \quad \text{oder Gl. (7-61)} \quad r_i = (1,04 \dots 1,4) r_2$$

Angewendet und letztlich tabellarisch ausgewertet:

$$c_{3u} = Y_{\text{Sch}} / u_2 \quad \text{bei } \alpha_1 = 90^\circ \quad \text{aus EULER-Gleichung}$$

$$Y_{\text{Sch}} = \Delta Y / \eta_{\text{Sch}} = 264,9 / 0,88 = 301 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$u_2 = D_2 \cdot \pi \cdot n = 0,3 \cdot \pi \cdot 24 = 22,62 \text{ m/s}$$

$$c_{3u} = 301 / 22,62 \text{ [(m}^2/\text{s}^2)/(\text{m/s})] = 13,31 \text{ m/s}$$

$$K_{D,\text{Spir}} = 0,15 \cdot 13,31 \text{ [m} \cdot \text{m/s}] = 2,0 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\dot{V}_{La} = \dot{V} / \lambda_L = 0,111 / 0,95 \text{ [m}^3/\text{s}] = 0,117 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C = 720 \cdot \pi \cdot 2,0 / 0,117 \text{ [(m}^2/\text{s})/(\text{m}^3/\text{s})] = 38666 \text{ }^\circ/\text{m}$$

$$C = 38,67 \text{ }^\circ/\text{mm}$$

$$r_i = 1,04 \cdot 150 \text{ [mm]} \approx 156 \text{ mm} \quad \text{oder}$$

$$r_i = (1,04 \dots 1,4) \cdot 150 = 156 \dots 210 \text{ mm}$$

$$\text{Ausgeföhrt} \quad r_i = 155 \text{ mm}$$

$$b_5 = b_2 + (1 \dots 3 \text{ mm}) = 45 + (1 \dots 3) = 46 \dots 48 \text{ mm}$$

$$\text{Ausgeföhrt} \quad b_5 = 47 \text{ mm}$$

$$g = \varphi^2 / 38,67 + \sqrt{2 \cdot 155 \cdot \varphi^2 / 38,67} \text{ [mm]}$$

$$g = \varphi^2 / 38,67 + \sqrt{310 \cdot \varphi^2 / 38,67} \text{ [mm]}$$

$$\Delta g = 0,025 \cdot 155 \cdot \varphi^2 / 360 \text{ [mm]} = 0,011 \cdot \varphi^2 \text{ [mm]}$$

Tabellarische Auswertung:

$\varphi$	$^\circ$	0	45	90	135	180	225	270	315	360	370
$g$	mm	0	20,16	29,19	36,39	42,64	48,29	53,51	58,40	63,03	64,03
$\Delta g$	mm	0	0,50	0,99	1,49	1,98	2,48	2,97	3,47	3,96	4,07
$g_{\text{ges}}$	mm	0	20,66	30,18	37,88	44,62	50,77	56,48	61,87	66,99	68,10

Druckstutzen: Nach Gl. (7-64):

$$c_D = (0,1 \dots 0,3) \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta Y} = (0,1 \dots 0,3) \cdot \sqrt{2 \cdot 264,9} \text{ [m}^2/\text{s}^2]$$

$$c_D = 2,3 \dots 6,9 \text{ m/s}$$

$$\text{Ausgeföhrt} \quad c_D = 4,6 \text{ m/s (Mittelwert!)} \quad \text{Damit}$$

$$A_D = \dot{V} / c_D = 0,111 / 4,6 \text{ [(m}^3/\text{s})/(\text{m/s})] = 0,0241 \text{ m}^2$$

$$D_D = \sqrt{A_D \cdot 4/\pi} = \sqrt{0,0241 \cdot 4/\pi} \text{ [m}^2] = 0,175 \text{ m}$$

$$D_D = 175 \text{ mm}$$

$$A_Z = g_{370}^2 \cdot \pi = 0,068^2 \cdot \pi = 0,0145 \text{ m}^2 \quad \text{Damit}$$

$$c_Z = \dot{V} / A_Z = 0,111 / 0,0147 \text{ [m/s]} = 7,64 \text{ m/s}$$

$$A_D / A_Z = 0,0241 / 0,0145 = 1,66$$

Wert liegt im unteren Teil des günstigen Bereiches ( $A_D / A_Z = 1,5 \dots 2,5$ ). Deshalb Druckstutzen-Austrittsgeschwindigkeit reduziert auf  $c_D = 3,5 \text{ m/s}$ , was zu geringeren Strömungsverlusten in der Druckleitung führt. Dazu:

$$A_D = 0,111 / 3,5 = 0,0317 \text{ m}^2 \rightarrow D_D = 200 \text{ mm}$$

$$A_D / A_Z = 0,0317 / 0,0145 = 2,2$$

Bei Erweiterungswinkel  $\delta = 8^\circ$  wird die Druckstutzenlänge:

$$L = \frac{(D_D - D_Z)/2}{\tan(\delta/2)} = \frac{(200 - 136)/2}{\tan 4^\circ} \text{ [mm]} = 458 \text{ mm}$$

Wert günstig, da  $L < 4 \cdot D_Z$

c) Druckaufbau: Nach Gl. (7-67)

$$\Delta P_{\text{Spir}} = g \cdot (c_e^2/2 - c_D^2/2) \cdot \eta_{\text{Spir}} \quad \text{Mit}$$

$$\eta_{\text{Spir}} = \eta_{\text{Leitring}} = \eta_{\text{Leitrad}} - (0,01 \dots 0,05) > \eta_{\text{Sch}}$$

$$\eta_{\text{Leitrad}} \approx \sqrt{\eta_{\text{Sch}}} = \sqrt{0,88} = 0,94$$

$$\eta_{\text{Spir}} \approx 0,93 \dots 0,89 \quad \text{angen. } \eta_{\text{Spir}} = 0,92$$

$$c_e^2 = c_3^2 = c_{3u}^2 + c_{3m}^2 \quad \text{wobei}$$

$$c_{3m} \approx c_{4m} = \dot{V} / A_{4m}$$

$$A_{4m} = D_4 \cdot \pi \cdot b_4 = 2 \cdot r_i \cdot \pi \cdot b_5$$

$$= 2 \cdot 0,155 \cdot \pi \cdot 47 \cdot 10^{-3} \text{ [m} \cdot \text{m]}$$

$$= 0,0458 \text{ m}^2$$

$$c_{3m} = 0,111 / 0,0458 \text{ [(m}^3/\text{s})/(\text{m}^2)] = 2,43 \text{ m/s}$$

$$c_e^2 = c_3^2 = 13,31^2 + 2,43^2 = 183,1 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Hinweis:  $\tan \alpha_3 = c_{3m} / c_{3u} = 2,43 / 13,31 = 0,1826$   
 $\rightarrow \alpha_3 = 10,3^\circ$

Nach Tab. 7-1 sollte, um guten Wirkungsgrad zu erzielen, möglichst noch ein Leitrad zwischengeschaltet werden.

$$\Delta p_{\text{Spir}} = 10^3 \cdot (183,1/2 - 3,5^2/2) \cdot 0,92 \text{ [kg/m}^3 \cdot \text{m}^2/\text{s}^2\text{]}$$

$$\underline{\Delta p_{\text{Spir}} = 0,79 \cdot 10^5 \text{ Pa} \approx 0,8 \text{ bar} \hat{=} 8 \text{ m Druckhöhe}}$$

$$\text{Hieraus } r = \frac{\Delta p - \Delta p_{\text{Spir}}}{\Delta p} = \frac{H_{\text{ges}} - H_{\text{Spir}}}{H_{\text{ges}}} = 1 - \frac{H_{\text{Spir}}}{H_{\text{ges}}}$$

$$r = 1 - 8/27 = 0,70$$

Kontrollrechnung nach Gl. (4-43):

$$r \approx 1 - c_{3u} / (2 \cdot u_2) = 1 - 13,31 / (2 \cdot 26,62) = 0,75$$

Beide Werte stimmen etwa überein.

d) Radialkraft: Nach Gl. (7-62):

$$F_r = K_r \cdot g \cdot \Delta Y \cdot D_2 \cdot B_2 \quad \text{Hierbei}$$

$$K_r = |(0,36 \dots 0,6) \cdot [1 - (\dot{v}_x / \dot{v})^2]| \quad \text{H. Gl. (7-63)}$$

Maximalwert bei  $\dot{v}_x = 0$  (Nulldurchsatz)

$$K_{r, \text{max}} = 0,36 \dots 0,6$$

$$B_2 = b_2 + 2 \cdot a_{\text{Deckw}} = 45 + 2 \cdot 4 \text{ [mm]} = 53 \text{ mm}$$

$$F_r = (0,36 \dots 0,6) \cdot 10^3 \cdot 264,9 \cdot 0,3 \cdot 0,053 \text{ [kg/m}^3 \cdot \text{m}^2/\text{s}^2 \cdot \text{m} \cdot \text{m}]}$$

$$\underline{F_r = 1516 \dots 2527 \text{ N}}$$