Ü 43

Festlegen des Ansaugzustandes:

Angenommen: Druckverlust im Ansaugkanal (Leitung mit Filter) 2 % des Absolutwertes und Erwärmung der Ansaugluft durch die Übertemperatur im Maschinenraum um 5 °C.

Umgebung: $p_b = 1\ \text{bar} = 10^5\ \text{Pa}, \quad t_b = 20\ ^\circ\text{C}$

Saugstutzen: $p_S = p_b - 0{,}02 \cdot p_b = 0{,}98 \cdot p_b = 0{,}98\ \text{bar}$

$t_S = t_b + 5\ ^\circ\text{C} = 25\ ^\circ\text{C}$

Förderdruck: $p_D = p_{D,ü} + p_b = 0{,}04 \cdot 10^5 + 1 \cdot 10^5\ [\text{bar}]$

$p_D = 1{,}04 \cdot 10^5\ \text{Pa}$

Druckverhältnis: $\pi = p_D/p_S = 1{,}04/0{,}98 = 1{,}061$

$\pi < 1{,}1$, also Ventilator $\longrightarrow$ Kompressibilität vernachlässigbar ($\rho \approx$ konst).

Nachweis, daß Dichte nahezu gleichbleibend: Bei ungekühlter, realer Verdichtung (Polytrope) mit geschätztem n = 1,7 ergibt sich:

Temperaturverhältnis und Endtemperatur:

$T_D/T_S = \pi^{(n-1)/n} = 1{,}061^{(1{,}7-1)/1{,}7} = 1{,}025$

$T_D = 1{,}025 \cdot T_S = 1{,}025 \cdot 298\ [\text{K}] = 305\ \text{K}$

$t_D = 32^\circ\ \text{C} \rightarrow$ Erwärmung um 7° C

Dichten

Druckstutzen:

$$v_D = \frac{R \cdot T_D}{p_D} = \frac{287 \cdot 305}{1{,}04 \cdot 10^5} \left[\frac{Nm/(kg \cdot K) \cdot K}{N/m^2}\right] = 0{,}8417\ m^3/kg$$

$$\rho_D = 1/v_D = 1{,}188\ kg/m^3$$

Umgebung:

$$\rho_b = \frac{p_b}{R \cdot T_b} = \frac{1 \cdot 10^5}{287 \cdot 293} \left[\frac{N/m^2}{Nm/(kg \cdot K) \cdot K}\right] = 1{,}189\ kg/m^3$$

Saugstutzen:

$$\rho_S = \frac{p_S}{R \cdot T_S} = \frac{0{,}98 \cdot 10^5}{287 \cdot 298} = 1{,}146\ kg/m^3$$

Ergebnis: $\rho_D \approx \rho_b = 1{,}189\ kg/m^3$

Folge $\dot V_b \approx \dot V_D = 13500\ m^3/h = 3{,}75\ m^3/s$

Saugstrom: Ebenfalls aus Gasgleichung

$$\dot V_S = \dot V_b \cdot \frac{p_b}{p_S} \cdot \frac{T_S}{T_b} = 3{,}75 \cdot \frac{1{,}0}{0{,}98} \cdot \frac{298}{293}\ [m^3/s]$$

$$\dot V_S = 1{,}0378 \cdot \dot V_b = \underline{3{,}892\ m^3/s}$$

Radform: Einstufig, ρ = konst. Nach Gl. (4-75), bzw. (10-11):

$n_y = n \cdot \dot V_S^{1/2} \cdot \Delta Y^{-3/4}$ Mit

$$\Delta Y = Y = \frac{\Delta p}{\rho} = \frac{p_D - p_S}{\rho} = \frac{(1{,}04 - 0{,}98) \cdot 10^5}{1{,}189} \left[\frac{Pa}{kg/m^3}\right]$$

$$\Delta Y = 5046\ m^2/s^2$$

Billige Anlage, deshalb Direktantrieb durch Elektromotor, also ohne Getriebe. Desweiteren E-Motor möglichst 2- oder 4-polig.

2-Poler, $n = 48\ s^{-1} \longrightarrow$

$n_y = 48 \cdot 3{,}892^{1/2} \cdot 5046^{-3/4} = 0{,}158 \approx 0{,}16$

4-Poler, $n = 24\ s^{-1} \longrightarrow n_y = 0{,}16/2 = 0{,}08$

Nach Tab. 10-1 bei 2-Poler Radform II und bei 4-Poler Radform I.

Da preisgünstige Maschine gefordert: Ausführung in Blech (geschweißt oder genietet), Radform I mit einfach gekrümmten und radial endenden Kreisbogenschaufeln. Laufrad fliegend gelagert, ohne Nabenverengung und Antrieb durch 4-poligem E-Motor. Hierzu bei gutem Gestalten ($\beta_2 < 90°$) nach

Tab. 10-3: $\varphi = 0{,}03$; $\psi = 1{,}1$; $\sigma = 0{,}162$. Dazu aus Bild 4-5: $\delta = 5{,}5$; $\eta_e = 0{,}82 \approx 0{,}8$

Bemerkung zur gewählten Drehzahl $24\ s^{-1}$:

Vorteil Geräuschentwicklung geringer

Nachteil Elektromotor teurer.

Antriebsleistung: Mit geschätztem $\eta_e = 0{,}65$ (entgegen obigem Wert, da vorwärts gekrümmte Schaufeln):

$P_e = \dot m \cdot Y_e = \rho_S \cdot \dot V_S \cdot Y/\eta_e = \rho \cdot \dot V \cdot \Delta p/\rho \cdot 1/\eta_e$

$P_e = \dot V \cdot \Delta p/\eta_e = 3{,}892 \cdot 0{,}06 \cdot 10^5/0{,}65\ [m^3/s \cdot N/m^2]$

$P_e = 35{,}9 \cdot 10^3\ W \approx \underline{36\ kW}$

Laufradabmessungen:

Schaufelwinkel: Nach

Gl. (6-20): $\beta_2 = 35\ldots90°$ ausgeführt $\beta_2 = 90°$

Gl. (5-54): $\beta_0 = 32\ldots33°$ ausgeführt $\beta_0 = 32°$

Vorausberechnung:

Saugkante: Aus Gl. (4-93) zusammen mit Gl. (4-101)

$c_{0m} = \varepsilon \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta Y}$

$\varepsilon = (1{,}34\ldots1{,}48) \cdot n_y^{2/3} = (1{,}34\ldots1{,}48) \cdot 0{,}08^{2/3}$

$\varepsilon = 0{,}25\ldots0{,}27$ angenommen $\varepsilon = 0{,}26$

$c_{0m} = 0{,}26 \cdot \sqrt{2 \cdot 5046}\ [\sqrt{m^2/s^2}] = 26\ m/s$

Damit nach Saugkanten-Ge-Δ (Bild 1)

$u_1 = c_0/\tan\beta_0 = 26/\tan 32°\ [m/s] = 41{,}61\ m/s$

$D_1 = u_1/(\pi \cdot n) = 41{,}61/(\pi \cdot 24)\ [(m/s)/s^{-1}] = 0{,}552\ m$

ausgeführt: $\underline{D_1 = 550\ mm}$

Dafür: $u_1 = D_1 \cdot \pi \cdot n = 0{,}55 \cdot \pi \cdot 24\ [m/s] = 41{,}47\ m/s$

$c_0 = u_1 \cdot \tan\beta_0 = 41{,}47 \cdot \tan 32° = 25{,}91\ m/s$

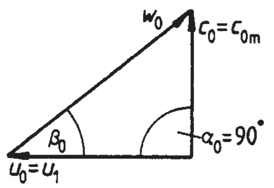

Bild 1. Lösungsskizze 1 zu Ü 43. Saugkanten-Geschwindigkeitsdreieck.

$$b_1 = \frac{\dot V_{La}}{D_1 \cdot \pi \cdot c_{0m}} \qquad \text{Mit geschätzt } \lambda_L = 0{,}92$$

$$\dot V_{La} = \dot V_S/\lambda_L = 3{,}892/0{,}92 = 4{,}23\ m^3/s$$

$$\underline{b_1} = \frac{4{,}23}{0{,}55 \cdot \pi \cdot 25{,}91} \left[\frac{m^3/s}{m \cdot m/s}\right] = 0{,}0945\ m \approx \underline{95\ mm}$$

Druckkante: Zwei Möglichkeiten zum Abschätzen des Druckkantendurchmessers bestehen:

a) Aus Druckziffer, Gl. (4-51):

$$u_2 = \sqrt{2 \cdot \Delta Y/\psi} = \sqrt{2 \cdot 5046/1{,}1}\ \left[\sqrt{m^2/s^2}\right] = 95{,}78\ m/s$$

$$\underline{D_2} = u_2/(\pi \cdot n) = 95{,}78/(\pi \cdot 24)\ [(m/s)/s^{-1}] = \underline{1{,}270\ m}$$

b) Mit geschätzt $\eta_{Sch} = 0{,}80$ ($>\eta_e$) und $k_M \approx 0{,}7$ sowie $c_{2u} = u_2$, da $\beta_2 = 90°$, wird aus EULERgleichung

$$Y_{Sch\infty} = \Delta Y/(k_M \cdot \eta_{Sch}) = u_2 \cdot c_{2u} = u_2^2 \qquad \text{Hieraus}$$

$$u_2 = \sqrt{\frac{\Delta Y}{\eta_{Sch} \cdot k_M}} = \sqrt{\frac{5046}{0{,}8 \cdot 0{,}7}}\ \left[\sqrt{\frac{m^2}{s^2}}\right] = 94{,}9\ m/s$$

$$\underline{D_2} = 94{,}9/(\pi \cdot 24)\ [(m/s)/s^{-1}] = \underline{1{,}26\ m \approx 1{,}25\ m}$$

Bei vorerst $\tau_2 \approx 1$ und $c_{2m} \approx c_{0m}$ sowie $D_2 = 1{,}25$ m:

$$b_2 = \frac{\dot V_{La} \cdot \tau_2}{D_2 \cdot \pi \cdot c_{2m}} = \frac{4{,}23 \cdot 1}{1{,}25 \cdot \pi \cdot 25{,}9} \left[\frac{m^3/s}{m \cdot m/s}\right] = 0{,}0416\ m$$

$$\underline{b_2 \approx 42\ mm}$$

Schaufelzahl: Nach Gl. (2-72) mit $K_{Sch} = 6{,}5 \ldots 8$ und $\beta_1 \approx \beta_0 + 2 = 34°$

$$z_{La} = K_{Sch} \cdot \frac{D_2 + D_1}{D_2 - D_1} \cdot \sin\left(\frac{\beta_2 + \beta_1}{2}\right)$$

$$z_{La} = (6{,}5 \ldots 8) \cdot \frac{1{,}25 + 0{,}55}{1{,}25 - 0{,}55} \cdot \sin\left(\frac{90 + 34}{2}\right) = 15 \ldots 18$$

ausgeführt $\underline{z_{La}} = \underline{17}$

Nachrechnung:

Saugmund: $c_{SM} = c_{0m}/(1 \ldots 1{,}25)$

angen. $c_{SM} = c_{0m} = 26$ m/s damit

$$A_{SM} = \dot V_{La}/c_{SM} = 4{,}23/26\ [m^2] = 0{,}1627\ m^2$$

$$D_{SM} = \sqrt{A_{SM} \cdot 4/\pi} = 0{,}455\ m$$

ausgeführt: $\underline{D_{SM} = 460\ mm}$

Saugkante:

$$\tau_1 = t_1/(t_1 - \sigma_1) \qquad \text{(Gl. 2-60)}$$

Gl. (2-62): $t_1 = D_1 \cdot \pi/z_{La} = 550 \cdot \pi/17\ [mm] = 101{,}64$ mm

Gl. (2-65): $\sigma_1 = s_1/\sin\beta_1$

angenommen $s_1 = 2{,}5$ mm

$$\sigma_1 = 2{,}5/\sin 34°\ [mm] = 4{,}47\ mm$$

$$\tau_1 = 101{,}64/(101{,}64 - 4{,}47) = 1{,}046 \approx 1{,}05$$

$$\tan\beta_1 = \tau_1 \cdot \tan\beta_0 = 1{,}05 \cdot \tan 32° = 0{,}6561 \rightarrow \beta_1 = 33{,}3°$$

$\beta_1 \approx 33{,}5°$ damit

$$\sigma_1 = 2{,}5/\sin 33{,}5° = 4{,}53\ mm$$

$\tau_1 = 101{,}64/(101{,}64 - 4{,}53) = 1{,}047$ wie zuvor

also $\underline{\beta_1 = 33{,}5°}$

$$\underline{c_1} = u_1 \cdot \tan\beta_1 = 41{,}47 \cdot \tan 33{,}5\ [m/s] = \underline{27{,}45\ m/s}$$

$$b_1 = \frac{\dot V_{La}}{c_{1m} \cdot D_1 \cdot \pi/\tau_1} = \frac{4{,}23}{27{,}45 \cdot 0{,}55 \cdot \pi/1{,}05} \left[\frac{m^3/s}{m/s \cdot m}\right]$$

$\underline{b_1} = 0{,}936$ m = $\underline{94\ mm}$ (ausgeführt)

Druckkante:

$k_M = 1/(1 + p)$ Gl. (3-26). Mit

$$\left.\begin{aligned} &\text{Gl. (3-30)} \quad p = \psi' \cdot \frac{r_2^2}{z_{La} \cdot S_{La}} \\ &\text{Gl. (3-32)} \quad S_{La} = \frac{r_2^2}{2} \cdot \left[1 - (r_1/r_2)^2\right] \end{aligned}\right\} \quad p = \frac{2 \cdot \psi'}{z_{La}\left[1 - (r_1/r_2)^2\right]}$$

$r_1/r_2 = D_1/D_2 = 0{,}55/1{,}25 = 0{,}44$ Dafür bei $\beta_2 = 90°$

nach Gl. (3-38) $\psi' = (0{,}65 \ldots 0{,}85)(1 + 90/60)$

$\psi' = 1{,}625 \ldots 2{,}125$

angenommen $\psi' = 1{,}87$ (Mittelwert)

$$p = \frac{2 \cdot 1{,}87}{17 \cdot (1 - 0{,}44^2)} = 0{,}273$$

$$k_M = 1/1{,}273 = 0{,}784 \approx 0{,}78$$

Gl. (8-131) $\eta_{Sch} = \sqrt{\eta_e} - (0{,}01 \ldots 0{,}04)$

$= \sqrt{0{,}65} - (0{,}01 \ldots 0{,}04)$

$\eta_{Sch} = 0{,}77 \ldots 0{,}80$

angen. $\eta_{Sch} = 0{,}79$

$$Y_{Sch\infty} = \Delta Y/(\eta_{Sch} \cdot k_M) = 5046/(0{,}79 \cdot 0{,}78) = 8088\ m^2/s^2$$

Aus $Y_{Sch\infty} = u_2 \cdot c_{2u} = u_2^2$

$$u_2 = \sqrt{Y_{Sch\infty}} = \sqrt{8088}\ [m/s] = 90{,}49\ m/s$$

$$D_2 = u_2/(\pi \cdot n) = 90{,}49/(\pi \cdot 24) \approx 1{,}20\ m$$

Überprüfen von Faktor k_M

$$p = \frac{2 \cdot 1{,}87}{17 \cdot [1 - (0{,}55/1{,}14)^2]} = 0{,}287 \approx 0{,}29$$

$k_M = 1/1{,}29 = 0{,}775 \approx 0{,}78$ (wie zuvor)

$\tau_2 = t_2/(t_2 - \sigma_2)$

$t_2 = D_2 \cdot \pi / z_{La} = 1200 \cdot \pi / 17$ [mm] = 221,76 mm

$\sigma_2 = s_2/\sin\beta_2 = 2{,}5/\sin 90^\circ = 2{,}5$ mm

$\tau_2 = 221{,}76/(221{,}76 - 2{,}5) = 1{,}011$

$c_{2m} = (0{,}6 \ldots 0{,}9 \ldots 1{,}1) \cdot c_0$ (Gl. 10-56). Angenommen

$c_{2m} = 0{,}7 \cdot c_0 = 0{,}7 \cdot 25{,}91$ [m/s] = 18,14 m/s

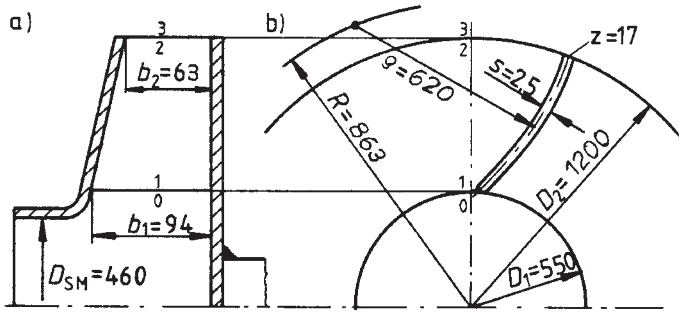

Bild 2. Lösungsskizze 2 zu Ü 43. Laufradform (Hydraulik). a) Meridianschnitt, b) Seitenriß.

$$b_2 = \frac{\dot{V}_{La}}{c_{2m} \cdot \pi \cdot D_2/\tau_2} = \frac{4{,}23}{18{,}14 \cdot \pi \cdot 1{,}20/1{,}01} \left[\frac{m^3/s}{m/s \cdot m}\right]$$

$\underline{b_2} = 0{,}063$ m = $\underline{63 \text{ mm}}$

Schaufelform: Kreisbogen

Krümmungsradius nach Gl. (6-21):

$$\rho = \frac{r_2^2 - r_1^2}{2 \cdot r_2 \cdot \cos\beta_2 - 2 \cdot r_1 \cdot \cos\beta_1}$$

$$\rho = \frac{0{,}60^2 - 0{,}275^2}{2 \cdot 0{,}60 \cdot \cos 90^\circ - 2 \cdot 0{,}275 \cdot \cos 33{,}5^\circ} \left[\frac{m^2}{m}\right]$$

$\underline{\rho} = -0{,}620$ m $\approx \underline{-620 \text{ mm}}$

Minuszeichen bedeutet "Vorwärtskrümmung"

Radius des Kreises, auf dem die Krümmungsmittelpunkte liegen. Nach Gl. (6-22):

$R = \sqrt{\rho^2 + r_2^2 - 2 \cdot \rho \cdot r_2 \cdot \cos\beta_2} = \sqrt{0{,}62^2 + 0{,}60^2 + 0}$ [m]

$\underline{R} = 0{,}8628$ m = $\underline{863 \text{ mm}}$

Zugehöriger Laufradentwurf zeigt Bild 2.