Ü 49

a) Die Drehzahl ist bei Wasserströmung nicht durch die Festigkeit (Fliehkraft), sondern durch Kavitation begrenzt. Mit geschätzt $\lambda_L = 0{,}9$ und erwartet $S_y = 0{,}9$ (Abschnitt 5.2.4) aus Gl. (5-20):

$$n = Y_{H,M}^{3/4} \cdot S_y / \sqrt{\dot V_{La}} = Y_{H,M}^{3/4} \cdot S_y / \sqrt{\dot V \cdot \lambda_L}$$

Bei $p_{Da} = 0{,}018 \cdot 10^5$ Pa (Tafel 9 für $t \approx 15\ ^\circ C$) und Term $c_{uw}^2/2$ entfällt sowie gemäß Gl. (5-3):

$$p_{UW} = p_b \approx (1 - 2{,}4 \cdot 10^{-5} \cdot z)^5 \cdot p_{p,0}\ [\mathrm{bar}]$$

$$p_{UW} = (1 - 2{,}4 \cdot 10^{-5} \cdot 460)^5 \cdot 1{,}01325\ [\mathrm{bar}] = 0{,}960\ \mathrm{bar}$$

$$p_{UW} \approx 1\ \mathrm{bar} = 1 \cdot 10^5\ \mathrm{Pa}$$

folgt aus Gl. (5-9):

$$Y_{H,M} \le \frac{p_{UW}}{\varrho} + \frac{c_{UW}^2}{2} + Y_{V,SL} - \frac{p_{Da}}{\varrho} - g \cdot H_{S,max}$$

$$Y_{H,M} \le \frac{1 \cdot 10^5}{1 \cdot 10^3} + 12{,}5 - \frac{0{,}018 \cdot 10^5}{10^3} - 9{,}81 \cdot 2{,}6\ \left[\frac{N/m^2}{kg/m^3} + \frac{m^2}{s^2}\right]$$

$$Y_{H,M} \le 85{,}2\ m^2/s^2$$

$$n \le 85{,}2^{3/4} \cdot 0{,}9 / \sqrt{0{,}9 \cdot 8{,}25}\ \left[(m^2/s^2)^{3/4} \cdot \sqrt{m^3/s}\right]$$

$$n \le 9{,}3\ s^{-1}$$

Polpaarzahl: $p = f/n = 50/9{,}3 = 5{,}4$

Ausgeführt: $\underline{p = 6}$ und damit $\underline{n = 8{,}33\ s^{-1}}$

b) Mit geschätzt $\eta_{RL} = 0{,}92$

$$Y_T = \eta_{RL} \cdot Y = \eta_{RL} \cdot g \cdot H = 0{,}92 \cdot 9{,}81 \cdot 118{,}5\ [m^2/s^2]$$

$$Y_T = 1069{,}5\ m^2/s^2$$

$$n_{y,M} = n \cdot \dot V^{1/2} \cdot Y_T^{-3/4} = 8{,}33 \cdot 8{,}25^{1/2} \cdot 1069{,}5^{-3/4}\ \left[1/s \cdot (m^3/s)^{1/2} \cdot (m^2/s^2)^{-3/4}\right]$$

$$\underline{n_{y,M}} = 0{,}128 = \underline{0{,}13}$$

FRANCIS-Normalläufer (Tab. 11-1), eventuell auch noch FRANCIS-Langsamläufer (Grenzfall).

c) Mit geschätzt $\eta_e = 0{,}9$ maximale Leistung:

$$P_e = \varrho \cdot \dot V_{1/1} \cdot Y_T \cdot \eta_e = 10^3 \cdot 8{,}25 \cdot 1069{,}5 \cdot 0{,}9\ \left[kg/m^3 \cdot m^3/s \cdot m^2/s^2\right]$$

$$\underline{P_e} = 7{,}94 \cdot 10^6\ W \approx \underline{7{,}9\ MW}$$

d) Bei geschätzt $\eta_G \approx 0{,}95$ (Generator)

$$\underline{\eta_A} = \eta_{RL} \cdot \eta_{e,T} \cdot \eta_G = 0{,}92 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}95 = 0{,}787 \approx \underline{0{,}79}$$

e) Wellendurchmesser: Aus Gl. (10-46) mit $\tau_t = 20\ N/mm^2$ nach Gl. (10-48) und

$$T_e = P_e/\omega = P_e/(2 \cdot \pi \cdot n) = 7{,}9 \cdot 10^6/(2 \cdot \pi \cdot 8{,}33)\ [W/s^{-1}]$$

$$T_e = 150940\ Nm$$

$$D_{We} \approx \sqrt[3]{5 \cdot 150{,}9 \cdot 10^6/20}\ \left[\sqrt[3]{Nmm/(N/mm^2)}\right] = 335{,}4\ mm$$

Ausgeführt: $\underline{D_{We} = 350\ mm}$

Nabendurchmesser: Nach Gl. (10-49) ausgeführt:

$$\underline{D_N} = 1{,}4 \cdot D_{We} = 1{,}4 \cdot 350\ [mm] = 490\ mm \approx \underline{500\ mm}$$

Saugmunddurchmesser: Aus Durchfluß

$A_{SM} = \dot V_{La}/c_{SM}$ Mit

$\dot V_{La} = \lambda_L \cdot \dot V$ wobei angen.

$\lambda_L = 0{,}96$ und $\dot V = 0{,}85 \cdot V_{1/1} = 0{,}85 \cdot 8{,}25 = 7\ \frac{m^3}{s}$

$$V_{La} = 0{,}96 \cdot 7\ [m^3/s] = 6{,}73\ m^3/s$$

$c_{SM} = c_0/1{,}1$ nach Gl. (10-50) und aus Gl. (4-93)

$c_0 = c_{0m} = \varepsilon \cdot \sqrt{2 \cdot Y_T}$ bei $\alpha_0 = 90^\circ$ ($\delta_r = 1$), wobei nach Gl. (4-99) mit $k_N = 1$ (Nabe zurückgenommen, weshalb keine Verengung) und $\beta_{0,(a)} = 20^\circ$ ausgeführt:

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

$$\varepsilon = 1{,}64 \cdot (1 \cdot \tan 20^\circ \cdot \sqrt{0{,}9} \cdot 0{,}13)^{2/3} = 0{,}21$$

$$c_0 = 0{,}21 \cdot \sqrt{2 \cdot 1069{,}5}\ \left[\sqrt{m^2/s^2}\right] = 9{,}71\ m/s$$

$$c_{SM} = 9{,}71/1{,}1 = 8{,}8\ m/s$$

Die Werte in Ausgangsbeziehung eingesetzt, ergibt:

$A_{SM} = 7/8{,}8\ [(m^3/s)/(m/s)] = 0{,}795\ m^2$ und hieraus

$D_{SM} = \sqrt{A_{SM} \cdot 4/\pi} = 1{,}006\ m$ Ausgeführt $\underline{D_{SM} = 1\ m}$

Raddurchmesser: Gemäß Gl. (3-19):

$$u_2 = \frac{c_{2m}}{2 \cdot \tan\beta_2} + \sqrt{\left(\frac{c_{2m}}{2 \cdot \tan\beta_2}\right)^2 + Y_{Sch\infty}}$$

Da an der Druck-Innenkante, Zweitindex (i), der Schaufelwinkel dicht bei 90° liegen soll (Unterabschnitt 6.1.4.4), wird ausgeführt $\underline{\beta_{2,(i)} = 80^\circ}$.

Desweiteren gemäß Gl. (10-56) gewählt

$$c_{2m,(i)} = c_{2m} = 0{,}9 \cdot c_0 = 0{,}9 \cdot 9{,}71\ [m/s] = 8{,}74\ m/s$$

Mit den Werten bei vorerst gesetzt $Y_{Sch\infty} \approx Y_T$:

$$u_{2,(i)} = \frac{8{,}74}{2 \cdot \tan 80^\circ} + \sqrt{\left(\frac{8{,}74}{2 \cdot \tan 80^\circ}\right)^2 + 1069{,}5}\ \left[\sqrt{m^2/s^2}\right]$$

$$u_{2,(i)} = 33{,}48\ m/s$$

$$D_{2,(i)} = u_{2,(i)}/(\pi \cdot n) = 33{,}48/(\pi \cdot 8{,}33)\ [(m/s)/(s^{-1})]$$

$D_{2,(i)} = 1{,}279\ m$ Ausgeführt: $\underline{D_{2,(i)} = 1{,}28\ m}$

Da $D_{2,(i)}$ größer als D_{SM} ist, kann die Druckkante des Laufrades achsparallel ausgeführt werden, also

$$D_2 = D_{2,(a)} = D_{2,(m)} = D_{2,(i)} = 1{,}28\ m$$

Druckkantenbreite: Aus Durchfluß mit geschätzt $\tau_2 = 1{,}1$:

$$b_2 = \frac{\dot V_{La}}{c_{2m} \cdot \pi \cdot D_2/\tau_2} = \frac{6{,}73}{8{,}74 \cdot \pi \cdot 1{,}28/1{,}1}\ \left[\frac{m^3/s}{m/s \cdot m}\right]$$

$$\underline{b_2 = 0{,}210\ m}$$

Schaufelzahl:

$z_{La} \approx 8{,}5 \cdot \sin\beta_2/(1 - D_1/D_2)$ Mit vorerst geschätzt

$D_1 = (D_{SM} + D_N)/2 = 0{,}75$ wird

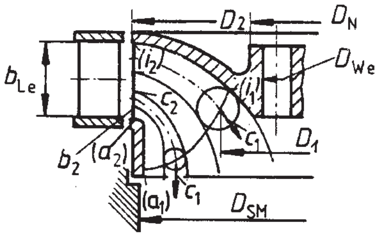

Bild 1. Lösungsskizze zu Ü 49.
Meridianschnitt der Hydraulik (Leit- und Laufrad).

$z_{La} = 8{,}5 \cdot \sin 80^{o}/(1 - 0{,}75/1{,}28) = 20$

Oder nach Tab. 6-4 $\quad z_{La} = 17$ für $n_y = 0{,}13$

Ausgeführt: $\underline{z_{La} = 17}$

Nachrechnung des Schaufelverengungsfaktors τ_2
bei angen. Schaufeldicke 40 mm:

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

$\quad t_2 = D_2 \cdot \pi / z_{La} = 1{,}28 \cdot \pi/17$ [m] $= 0{,}238$ m

$\quad \sigma_2 = s_2/\sin\beta_2 = 0{,}04/\sin 80^{o}$ [m] $\approx 0{,}04$ m

$\tau_2 = 0{,}238/(0{,}238 - 0{,}04) = 1{,}202$

$\tau_2 \approx 1{,}2$ (angenommen war $\tau_2 = 1{,}1$)

Deshalb Druckkantenbreite b_2 letztlich:

$\underline{b_2} = (1{,}2/1{,}1) \cdot 0{,}210$ [m] $= \underline{0{,}230 \text{ m}}$

Nun kann der Meridianschnitt der Hydraulik (La und Le) mit Hilfe von Tab. 6-4 entworfen werden (Bild 1. Dabei sind die Wandkrümmungen möglichst gleichmäßig auszuführen. Anschließend wird die Saugkante (i_1) - (a_1) eingezeichnet. Sie soll die Stromfäden möglichst steil schneiden. Andererseits sollte jedoch die Schaufel weder außen, Stromfaden (a), noch innen, Stromfaden (i), zu lang werden.
Nach Unterteilen des Meridianschnittes in gleiche Teilströme durch Herausgreifen einer entsprechenden Anzahl von Stromfäden erfolgt das Nachrechnen der Schaufelwinkel an den zugehörigen Saugkantenstellen. Das Aufteilen in Teilströme und das Gestalten der Schaufeln geschieht dabei gemäß Unterabschnitt "Bemerkung" von Kapitel 6.1.5.2.