Ü 50

a) Lt. Tab. 11-1 ist eine KAPLAN-Turbine einzusetzen mit hoher spezifischer Drehzahl im Bereich $n_y = 0,7 \ldots 1,3$ (Bereich eingegrenzt, damit η hoch).

b) Aus spez. Drehzahl mit $Y_T = g \cdot H = 78\ m^2/s^2$ bei maximalem Durchfluß $\dot{V}_{1/1} = 256\ m^3/s$

$$n = n_y \cdot \dot{V}_{1/1}^{-1/2} \cdot Y_T^{3/4} = (0,7 \ldots 1,3) \cdot 256^{-1/2} \cdot 78^{3/4} \quad \left[(m^3/s)^{-1/2} \cdot (m^2/s^2)^{3/4}\right]$$

$n = 1,15 \ldots 2,13\ s^{-1}$

Vorerst ausgeführt $n = 1,25\ s^{-1}$ Dazu Generator mit $p = f/n = 50/1,25$ Polpaaren notwendig. Hauptsächlich wird die Turbinendrehzahl jedoch durch die Kavitationsgefahr begrenzt. Das Kavitationsverhalten und daraus resultierend die verwirklichbare Saughöhe sind daher zu überprüfen.

Nach Gl. (5-20) mit angenommen $S_y = 0,64$ gemäß Abschnitt 5.2.4

$$Y_{H,M} = \left(\frac{n \cdot \sqrt{\dot{V}_{1/1}}}{S_y}\right)^{4/3} = \left(\frac{1,25 \cdot \sqrt{256}}{0,64}\right)^{4/3} \quad \left[\left(s^{-1} \cdot \sqrt{m^3/s}\right)^{\frac{4}{3}}\right]$$

$Y_{H,M} = 98,4\ m^2/s^2$ fast $100\ m^2/s^2$, also zu groß!

Deshalb Drehzahl reduziert auf $\underline{n = 1\ s^{-1}}$ und Spaltverlust durch Liefergrad - geschätzt $\lambda_L = 0,96$ - berücksichtigt. Dafür

$$Y_{H,M} = \left(1 \cdot \sqrt{0,96 \cdot 256}/0,64\right)^{4/3} = 71\ m^2/s^2$$

Die dazu mögliche Saughöhe folgt mit geschätzten spez. Saugleitungsverlusten von $10\ m^2/s^2$ und dem Dampfdruck $p_{Da} = 0,024$ bar (Tafel 9) sowie entfällt $c_{uw}^2/2$. Aus Gl. (5-9)

$$H_{S,max} \le \frac{1}{g} \cdot \left[\frac{p_{uw}}{\varrho} + \frac{c_{uw}^2}{2} + Y_{V,SL} - \frac{p_{Da}}{\varrho} - Y_{H,M}\right]$$

$$H_{S,max} \le \frac{1}{9,81} \cdot \left[\frac{0,98 \cdot 10^5}{10^3} + 10 - \frac{0,024 \cdot 10^5}{10^3} - 71\right]$$

$$\left[\frac{1}{m/s^2} \cdot \left(\frac{Pa}{kg/m^3} \quad \frac{m^2}{s^2} \quad \frac{Pa}{kg/m^3} \quad \frac{m^2}{s^2}\right)\right]$$

$H_{S,max} \le 3,5\ m$

Günstiger Wert mit gewisser Reserve. Daher endgültig ausgeführt:

Drehzahl $n = 1\ s^{-1} = 60\ min^{-1}$

c) Aus Tab. 6-7:

$$n_{y,1/1} = n \cdot \dot{V}_{1/1}^{1/2} \cdot Y_T^{-3/4} = 1 \cdot \sqrt{256} \cdot 78^{-3/4} = 0,61$$

$z_{La} = 5 \qquad D_N/D_a = 0,46 \qquad b_{Le}/D_a = 0,2 \qquad$ oder

$z_{La} = 4 \qquad D_N/D_a = 0,43 \qquad b_{Le}/D_a = 0,2 \qquad$ (ausgeführt)

Radumriß ausgelegt auf 85 % des Maximaldurchsatzes:

$\dot{V} = 0,85 \cdot \dot{V}_{1/1} = 0,85 \cdot 256 = 218\ m^3/s$. Bei $\lambda_L = 0,96$

$\dot{V}_{La} = \lambda_L \cdot \dot{V} = 0,96 \cdot 218 = 209\ m^3/s$

Raddurchmesser: Aus Durchfluß

$A_m = \dot{V}_{La}/c_0$ Hierbei aus Gl. (4-93) bei $\alpha_0 = 90°$

$c_0 = c_{0m} = \varepsilon \cdot \sqrt{2 \cdot Y_T}$

Aus Gl. (5-3) mit $\beta_{0,(a)} = 17°$, $\delta_r = 1$, da $\alpha_0 = 90$ und

$k_N = 1 - \nu_N^2 = 1 - (D_N/D_a)^2 = 1 - 0,43^2 = 0,815$ wird

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

$$\underline{\varepsilon} = 1,64 \cdot \left(1 \cdot \tan 17° \cdot \sqrt{0,96/0,815} \cdot 0,61\right)^{2/3} = \underline{0,57}$$

$\underline{\varepsilon^2 = 0,33}$ Das bedeutet, 33 % des verfügbaren Energie muß im Saugrohr umgesetzt werden.

$c_0 = 0,57 \cdot \sqrt{2 \cdot 78} \left[\sqrt{m^2/s^2}\right] = 7,12\ m/s$

$A_m = 209/7,12 \left[(m^3/s)/(m/s)\right] = 29.4\ m^2$

$A_m = k_N \cdot D_a^2 \cdot \pi/4$ Hieraus

$$\underline{D_a} = \sqrt{\frac{A_m}{k_N \cdot \pi/4}} = \sqrt{\frac{29,4}{0,815 \cdot \pi/4}} \left[\sqrt{m^2}\right] = 6,78\ m \approx \underline{6,8\ m}$$

Nabendurchmesser:

$\underline{D_N} = (D_N/D_a) \cdot D_a = 0,43 \cdot 6,8\ [m] = 2,92\ m \approx \underline{2,9\ m}$

Schaufelwinkel:

Aus Geschwindigkeitsdreiecken (Bild 1):

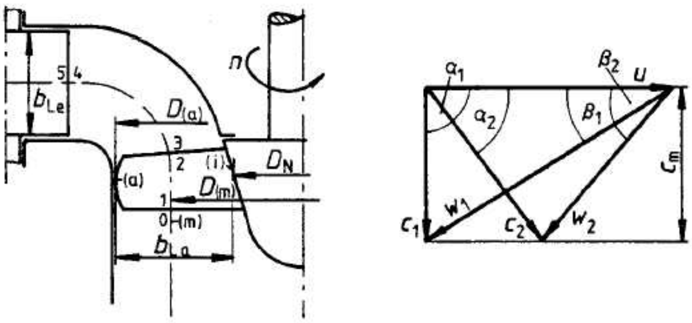

Bild 1. Meridianschnitt von Leit- und Laufrad (Hydraulik) sowie Geschwindigkeitsplan (Ge-Δ von Laufrad-Saug- und -Druckkante).

Druckkante: Mit geschätzt $\eta_{Sch} = 0,92$ aus "EULER"

$$c_{2u} = \frac{Y_{Sch\infty}}{u_2} = \frac{Y_{Sch}}{u_2} = \frac{\eta_{Sch} \cdot Y_T}{u_2} = \frac{0,92 \cdot 78}{u_2} \left[\frac{m^2/s^2}{m/s}\right]$$

$c_{2u} = 71,76/u_2$ in m/s mit u_2 in m/s

$c_{1m} \approx c_{2m} = c_{0m}/\tau \approx c_{0m} = c_0 = 7,12\ m/s$

$u = D \cdot \pi \cdot n = D \cdot \pi \cdot 1 = \pi \cdot D\ [m/s]$ mit D in m

$\tan\beta_2 = c_m/(u_2 - c_{2u}) \qquad \tan\alpha_2 = c_m/c_{2u}$

$w_2 = c_m/\sin\beta_2 \qquad c_2 = c_m/\sin\alpha_2$

Saugkante: $\tan\beta_1 = c_m/u \qquad \alpha_1 = 90°$

$w_1 = c_m/\sin\beta_1 \qquad c_{1m} = c_1 = 7,12\ m/s$

Auswertung: Die Beziehungen werden für die Flutlinien (i), (m) und (a) tabellarisch ausgewertet.

Faden	D [m]	u [m/s]	c_{2u} [m/s]	α_2 [°]	β_2 [°]	β_1 [°]	w_2 [m/s]	w_1 [m/s]	c_2 [m/s]
$(i_2)-(i_1)$	2,9	9,11	7,88	38	80,2	38	7,22	11,56	11,56
$(m_2)-(m_1)$	4,85	15,24	4,71	56,5	34,1	25	12,7	16,85	8,54
$(a_2)-(a_1)$	6,8	21,36	3,36	64,7	21,6	18,4	19,34	22,56	7,88

e) Dynamische Energie-Gefälle-Aufteilung, bezogen auf die Radmitte (mittlere Flutlinie $(m_2)-(m_1)$).

Leitrad-Energiegefälle:

$Y_{Le} = c_2^2/2 = 8{,}54^2/2\ [m^2/s^2] = 36{,}5\ m^2/s^2$

Laufrad-Energiegefälle:

$Y_{La} = w_1^2/2 - w_2^2/2 = 16{,}85^2/2 - 12{,}7^2/2 = 61{,}3\ m^2/s^2$

Saugrohr-Energiegefälle:

$Y_{SR} \approx c_0^2/2 = 7{,}12^2/2\ [m^2/s^2] = 25{,}4\ m^2/s^2$

Dynamisches Gesamtenergie-Gefälle:

$Y_{dyn,ges} = Y_{Le} + Y_{La} + Y_{SR} = 36{,}5 + 61{,}3 + 25{,}4\ [m^2/s^2]$
$= 123{,}2\ m^2/s^2$

Weil das vorhandene Turbinen-Energiegefälle nur $Y_T = 78\ m^2/s^2$ beträgt, muß am Saugrohreintritt ein Unterdruck entsprechend dem spez. Energieunterschied (Differenz) herrschen:

$\delta Y = Y_T - Y_{dyn,ges} = 78 - 123{,}2 = -45{,}2\ m^2/s^2$

Zugehöriger Unterdruck

$p_u = \delta Y \cdot \varrho = 45{,}2 \cdot 10^3\ [m^2/s^2 \cdot kg/m^3] = 0{,}45 \cdot 10^5\ Pa$
$= 0{,}45\ bar$

f) Nach Gl. (4-43) mit $c_{3u} \approx c_{2u}$ da $k_M \approx 1$ für die Radmitte

$r \approx 1 - c_{3u}/(2 \cdot u_2) = 1 - 4{,}71/(2 \cdot 15{,}24) \approx 0{,}85$

Oder aus den Energiegefällen:

$r = Y_{La}/Y_T = 61{,}3/78 = 0{,}8$

g) Nach Frage c (Tab 6-7):

$b_{Le} \leq (b_{Le}/D_a) \cdot D_a = 0{,}2 \cdot 6{,}8 = 1{,}36\ m$

Oder aus Durchfluß mit $c_m = c_{m,Le} = 7{,}12\ m/s$

$A_{m,Le} = \dot{V}_{La}/c_{m,Le} = 209/7{,}12\ [(m^3/s)/(m/s)] = 29{,}4\ m^2$

$A_{m,Le} = A_{4m} = D_4 \cdot \pi \cdot b_4$ mit $b_4 = b_{Le}$ Hieraus mit $D_4 = D_3 + 2\ s_{Sp} \approx D_3$

$b_{Le} \approx A_{m,Le}/(D_3 \cdot \pi) = 29{,}4/(6{,}8 \cdot \pi)\ [m^2/m]$

$b_{Le} = 1{,}7\ m$ (ausgeführt)

h) Mit geschätzt $\eta_e = 0{,}85$ ($< \eta_{Sch}$)

$P_e = \varrho \cdot \dot{V} \cdot Y_T \cdot \eta_e = 10^3 \cdot 218 \cdot 78 \cdot 0{,}85\ [kg/m^3 \cdot m^3/s \cdot m^2/s^2]$

$P_e = 13{,}26 \cdot 10^6\ W \approx 13\ MW$

i) Überschlagsrechnung mit den Werten in Radmitte.

Umfangs- oder Tangentialkraft aus Impulssatz.

$F_u = \Delta \dot{I}_u = \dot{m} \cdot (w_{1u} - w_{2u}) = \varrho \cdot \dot{V}_{La} \cdot (w_1 \cdot \cos\beta_1 - w_2 \cdot \cos\beta_2)$

$F_u = 10^3 \cdot 209 \cdot (16{,}85 \cdot \cos 25^\circ - 12{,}7 \cdot \cos 34{,}1^\circ)$
$[kg/m^3 \cdot m^3/s \cdot m/s]$

$F_u = 994 \cdot 10^3\ N = 994\ kN$

Damit Kontrollrechnung für die Leistung:

$P_u = T \cdot \omega = r \cdot F_u \cdot 2 \cdot \pi \cdot n = D \cdot F_u \cdot \pi \cdot n$

$P_u = 4{,}85 \cdot 993{,}8 \cdot 10^3 \cdot \pi \cdot 1\ [m \cdot N \cdot 1/s]$

$P_u = 15142 \cdot 10^3\ W \approx 15{,}1\ MW$

P_u ist größer als P_e, da noch nicht alle Verluste berücksichtigt. $P_e/P_u = 13/15{,}1 = 0{,}86$ beinhaltet die Spalt-, Radreibungs- und mechanischen Verluste.

Achsschub: Abschätzung mittels Staudrücke der Relativströmung in Radmitte:

$F_{ax} = A_m \cdot (w_1^2/2 - w_2^2/2) \cdot \varrho = k_N \cdot D_a^2 \cdot (\pi/4) \cdot (w_1^2 - w_2^2) \cdot \varrho/2$

$F_{ax} = 0{,}43 \cdot 6{,}8^2 \cdot (\pi/4) \cdot (16{,}85^2 - 12{,}7^2) \cdot 10^3/2$
$[m^2 \cdot m^2/s^2 \cdot kg/m^3]$

$F_{ax} = 958 \cdot 10^3\ N = 960\ kN$